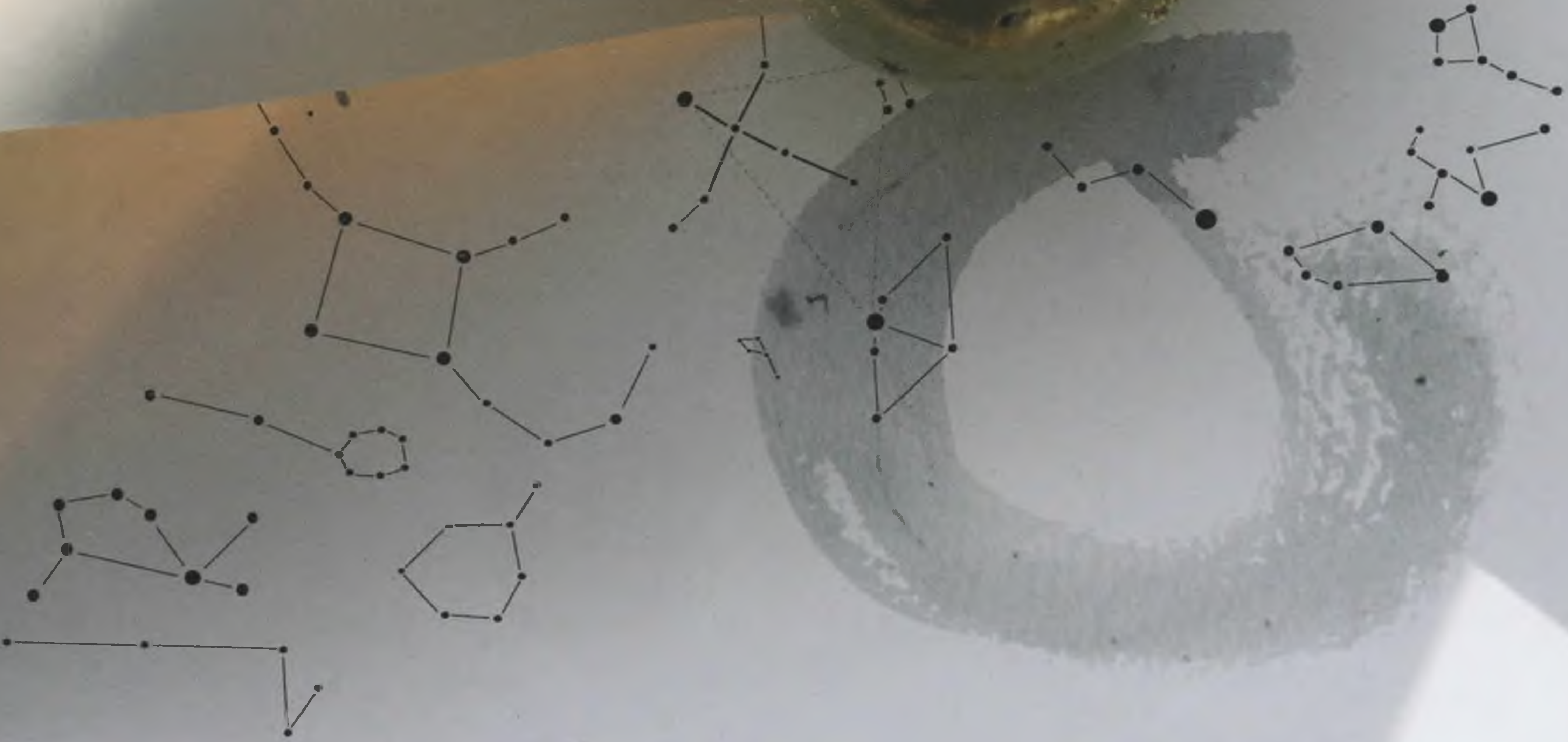
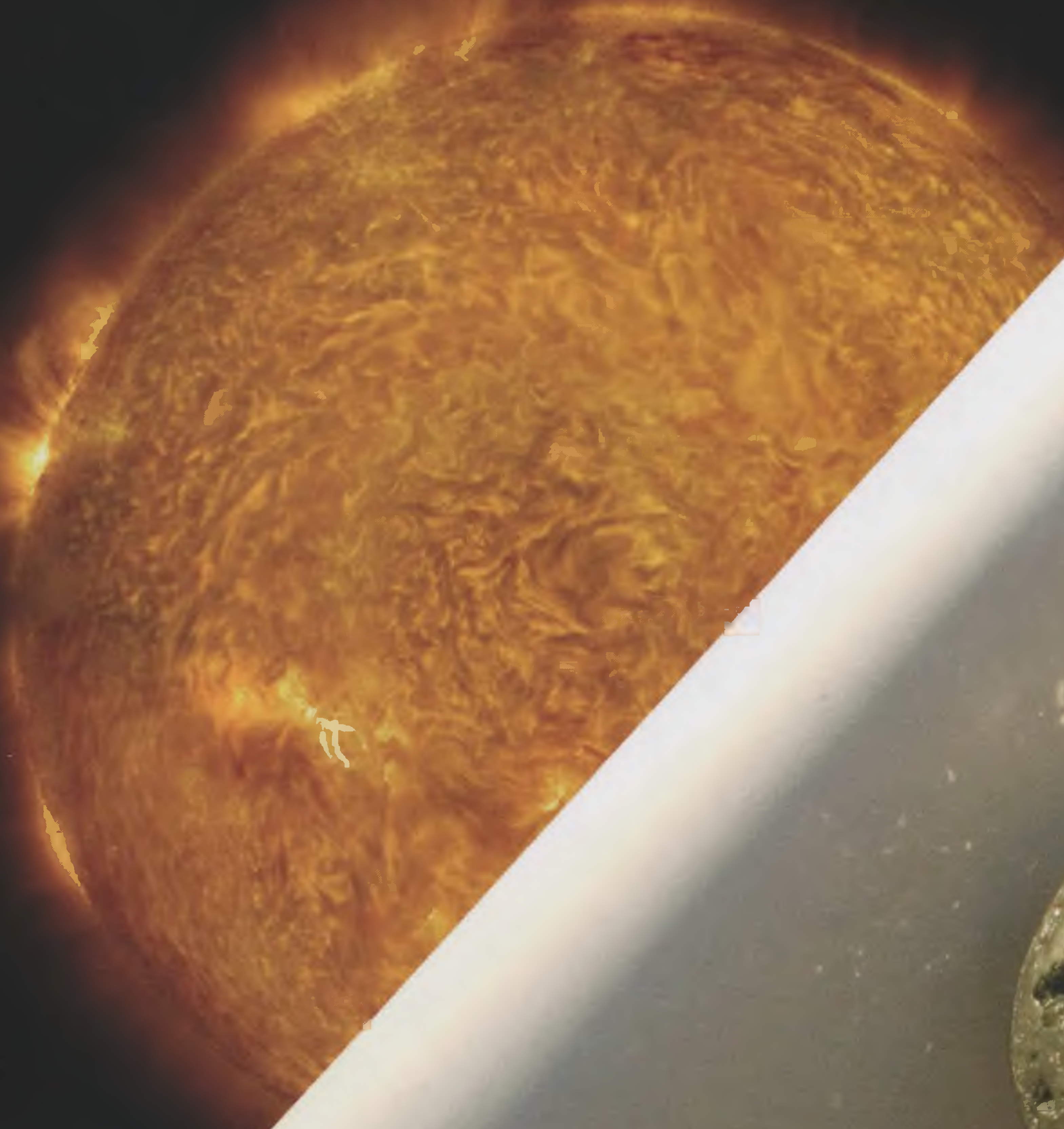
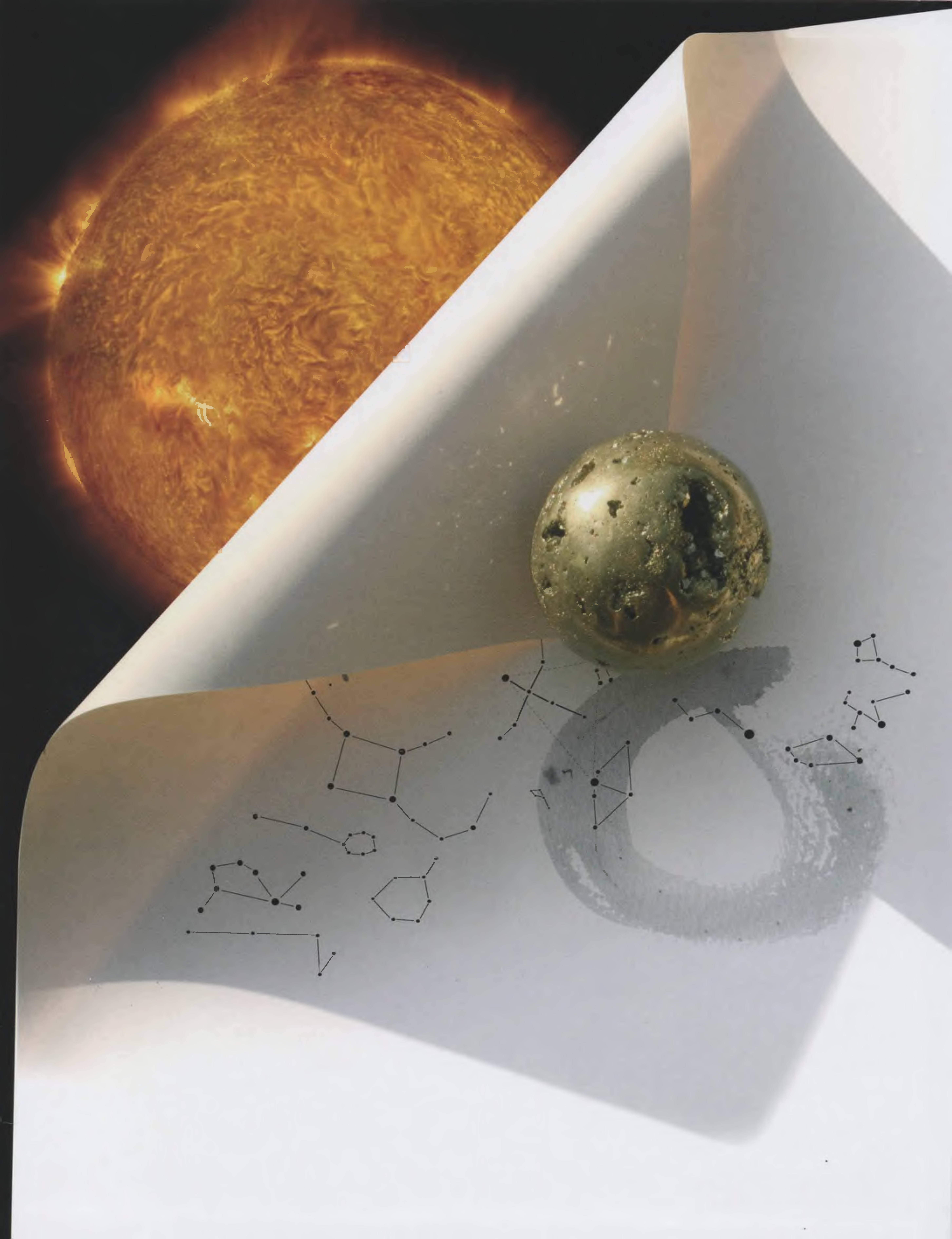
Como sabemos o que é verdade

A MAGIA DA REALIDADE

Richard Dawkins

Ilustrações de Dave McKean

CIA. DAS LETRAS

A magia da realidade

RICHARD
DAWKINS

A magia da realidade

Como sabemos o que é verdade

ILUSTRAÇÕES

DAVE McKEAN

TRADUÇÃO

LAURA TEIXEIRA MOTTA

CIA. DAS LETRAS

Grafia atualizada segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, que entrou em vigor no Brasil em 2009.

Título original
The magic of reality

Capa
Fabio Uehara

Preparação
Lígia Azevedo

Índice remissivo
Luciano Marchiori

Revisão
Luciane Helena Gomide
Márcia Moura

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Dawkins, Richard
A magia da realidade : como sabemos o que é verdade / Richard Dawkins ; ilustrações Dave McKean ; tradução Laura Teixeira Motta. — 1ª ed. — São Paulo : Companhia das Letras, 2012.

Título original: The magic of reality.
ISBN 978-85-359-2054-3

1. Ciência - Filosofia 2. Ciência - Miscelânea 3. Natureza 4. Realidade I. McKean, Dave. II. Título.

12-00710 CDD-501

Índice para catálogo sistemático:
1. Ciências : Filosofia 501

[2012]

EDITORA SCHWARCZ S.A.
Rua Bandeira Paulista 702 cj. 32
04532-002 — São Paulo — SP
Telefone (11) 3707-3500
Fax (11) 3707-3501
www.companhiadasletras.com.br
www.blogdacompanhia.com.br

Clinton John Dawkins

1915–2010

Oh, meu pai querido

Sumário

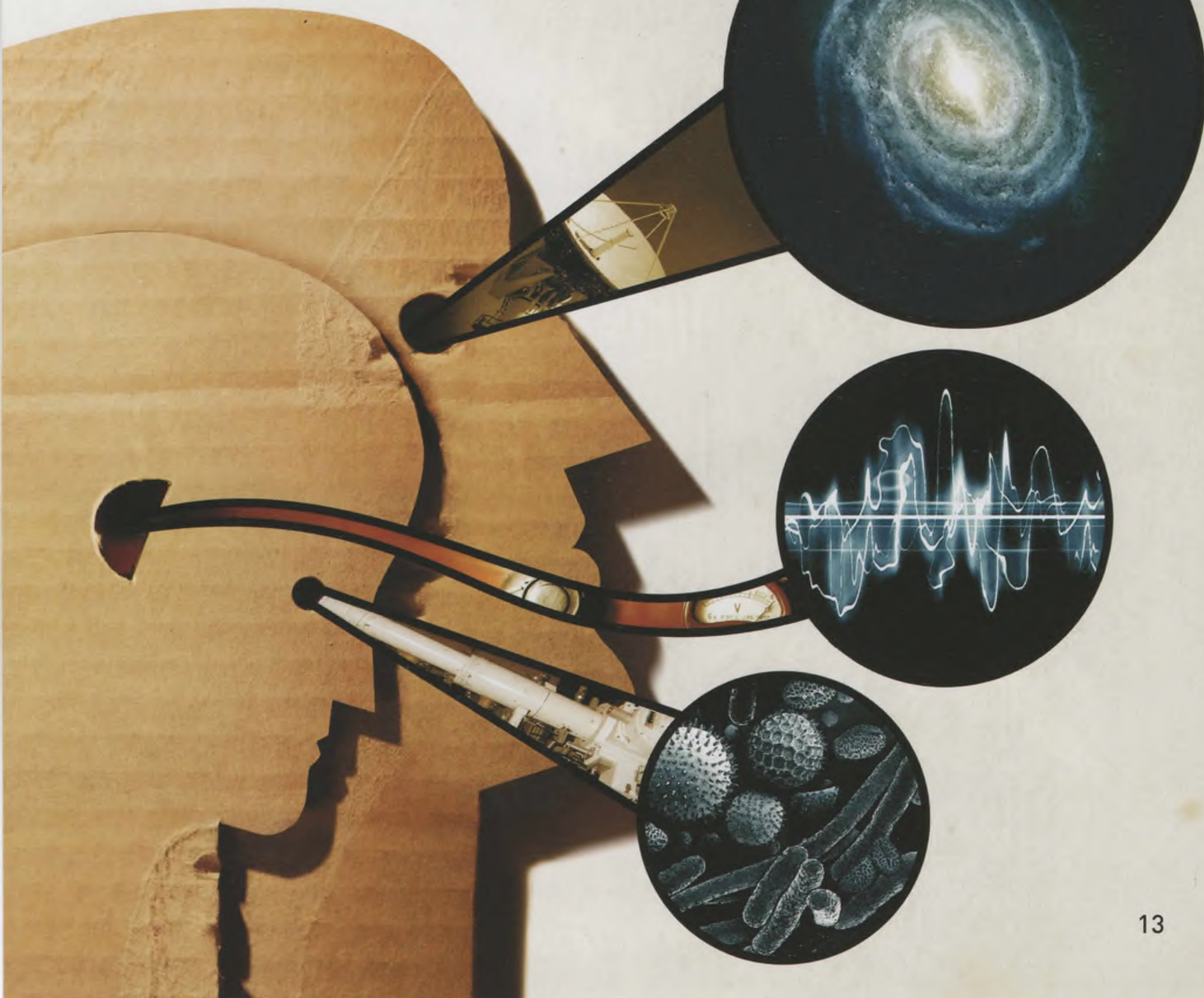
1 O que é realidade? O que é magia?

REALIDADE É TUDO o que existe. Parece claro, não? Só que não é. Há vários problemas. O que dizer dos dinossauros, que não existem mais? E das estrelas, tão distantes que quando sua luz finalmente chega até nós e conseguimos vê-las podem já ter se extinguido?

Trataremos dos dinossauros e das estrelas daqui a pouco. Mas, afinal, como sabemos que as coisas existem, mesmo no presente? Para começar, nossos cinco sentidos — visão, olfato, tato, audição e paladar — fazem um trabalho razoável para nos convencer de que muitas coisas são reais: pedras e camelos, grama recém-cortada e café moído na hora, lixa e veludo, cachoeiras

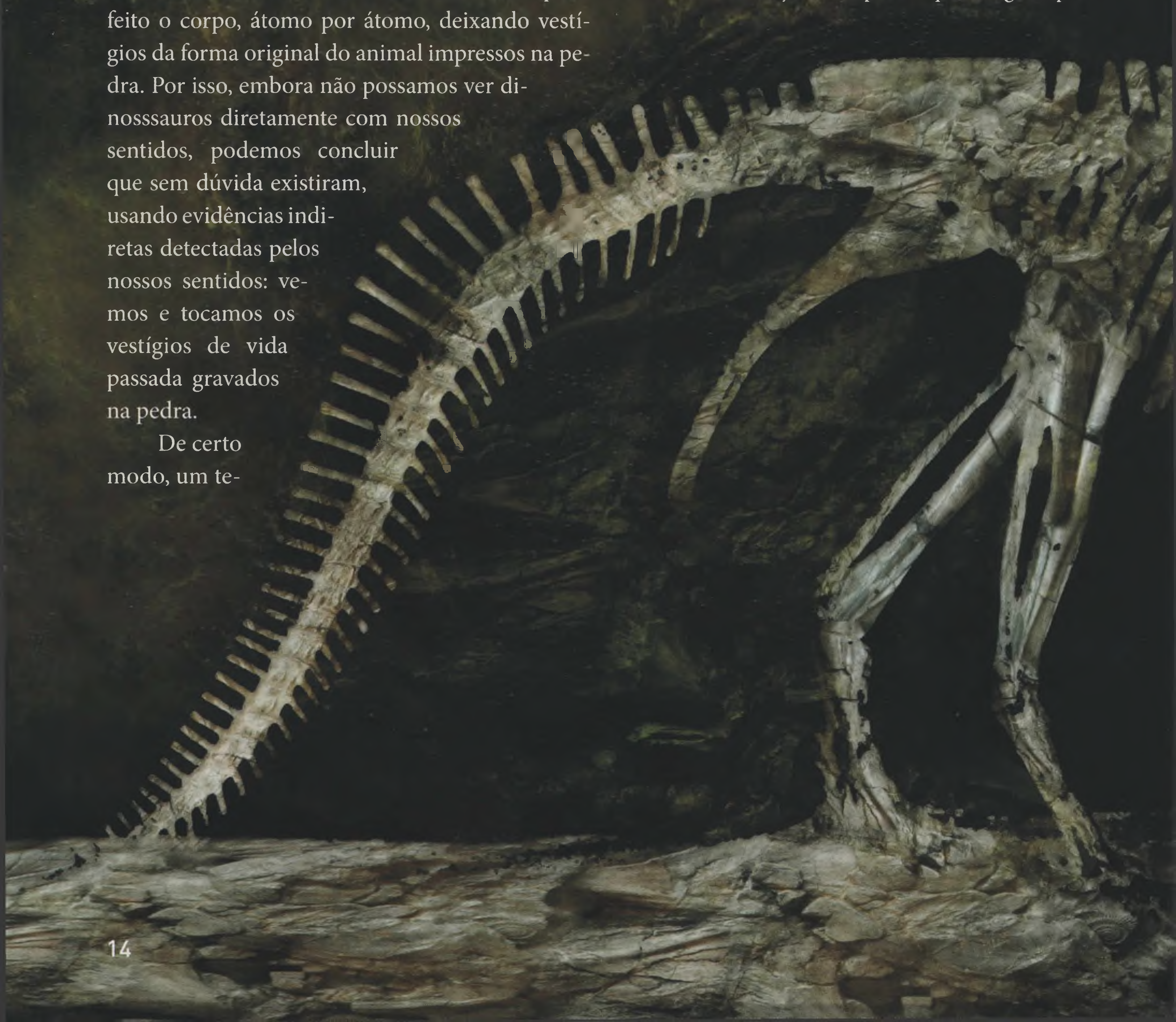
e campainhas, açúcar e sal. Mas dizemos que algo é "real" só quando podemos detectá-lo diretamente com nossos cinco sentidos?

E quanto a uma galáxia, tão distante que não pode ser vista a olho nu? E uma bactéria, tão pequena que só pode ser vista com um microscópio? Devemos dizer que essas coisas não existem porque não as enxergamos? Não. É claro que podemos intensificar nossos sentidos com instrumentos especiais: telescópios para as galáxias, microscópios para as bactérias. Entendemos os telescópios e microscópios, sabemos como funcionam, por isso podemos usá-los para aumentar o alcance dos sentidos — da visão, nesses casos. E o que esses instrumentos nos permitem ver nos convence de que galáxias e bactérias existem.

E quanto às ondas de rádio? Existem? Os olhos não podem detectá-las, nem as orelhas, mas, também nesse caso, instrumentos especiais, como a televisão, convertem essas ondas em sinais que podemos ver e ouvir. Portanto, embora não possamos ver nem ouvir as ondas de rádio, sabemos que são parte da realidade. Entendemos o funcionamento do rádio e da televisão, que ajudam nossos sentidos a construir uma imagem do que existe: o mundo real, a realidade. Radiotelescópios (e telescópios de raios X) nos mostram estrelas e galáxias através de outro tipo de olho — são mais um modo de expandir a nossa visão.

De volta aos dinossauros. Como sabemos que um dia andaram pela Terra? Nunca vimos nem ouvimos um dinossauro, muito menos corremos de algum. Infelizmente, não temos uma máquina do tempo para vê-los. Mas, nesse caso, nossos sentidos contam com um tipo diferente de ajuda: temos os fósseis, que podemos *ver* a olho nu. Fósseis não correm nem pulam, mas, porque entendemos como se formam, podem dizer algo sobre o que aconteceu milhões de anos atrás. Entendemos que a água, contendo minerais dissolvidos, infiltra-se em corpos enterrados sob camadas de lama e rocha. Entendemos que os minerais se cristalizam nela e substituem a matéria de que é feito o corpo, átomo por átomo, deixando vestígios da forma original do animal impressos na pedra. Por isso, embora não possamos ver dinosssauros diretamente com nossos sentidos, podemos concluir que sem dúvida existiram, usando evidências indiretas detectadas pelos nossos sentidos: vemos e tocamos os vestígios de vida passada gravados na pedra.

De certo modo, um telescópio pode funcionar como uma espécie de máquina do tempo. O que vemos quando olhamos qualquer coisa é, na verdade, luz, e a luz leva tempo para ir de um lugar a outro. Mesmo quando você olha para o rosto de um amigo, o que vê é passado, pois a luz vinda do rosto dele demora uma minúscula fração de segundo para chegar até seus olhos. O som viaja muito mais devagar, e é por isso que vemos um rojão brilhar no céu pouco antes de ouvir a explosão. Se você olha um homem cortando uma árvore ao longe, ouvirá com um curioso atraso o som dos golpes do machado.

A luz viaja tão depressa que em geral pres-

supomos que as coisas acontecem no instante em que as vemos. Mas com as estrelas é diferente. Até o Sol está a oito minutos-luz de distância. Se ele explodisse, esse evento catastrófico só faria parte da nossa realidade oito minutos depois. E seria o nosso fim! Depois do Sol, a estrela mais próxima de nós é a Proxima Centauri. Se você olhar para ela em 2011, verá o que estava acontecendo em 2007. As galáxias são imensos agrupamentos de estrelas, e nós estamos na Via Láctea. Quando você olha para a vizinha mais próxima dela, Andrômeda, seu telescópio é uma máquina do tempo que o leva a 2,5 milhões de anos atrás. Existe um grupo de cinco galáxias chamado Quinteto de Stephan, que vemos pelo telescópio Hubble, e elas colidem espetacularmente umas contra as outras. Mas as colisões que vemos aconteceram há 280 milhões de anos. Se numa dessas galáxias houver extraterrestres com telescópios que possam nos ver, o que eles estão vendo na Terra agora são os ancestrais mais remotos dos dinossauros.

Existem alienígenas no espaço cósmico? Nunca vimos nem ouvimos nenhum. Eles são parte da realidade? Ninguém sabe. Mas sabemos que tipo de coisa nos ajudaria a identificá-los. Se algum dia chegarmos perto de um extraterrestre, nossos sentidos poderão nos alertar. Talvez um dia alguém na Terra invente um telescópio potente o bastante para detectar vida em outros planetas. Talvez nossos radiotelescópios captem mensagens que só poderiam vir de inteligência alienígena. A realidade não consiste apenas nas coisas que já conhecemos. Ela inclui o que existe mas ainda ignoramos — e que só viremos a conhecer no futuro, talvez quando tivermos construído instrumentos melhores para auxiliar nossos cinco sentidos.

Sempre existiram átomos, mas só recentemente tivemos certeza disso, e é provável que nossos descendentes saibam muitas outras coisas que hoje desconhecemos. É o fascínio e o prazer da ciência: ela revela coisas continuamente. Isso não quer dizer que devemos acreditar em *tudo* que se possa imaginar. Há inúmeras coisas que podemos imaginar cuja existência é improvável demais para ser real: fadas, duendes, hipogrifos. Devemos ter sempre a mente aberta, mas a única razão para acreditar que algo existe é ter evidências reais dessa existência.

Modelos: imaginação à prova

Há um recurso menos conhecido que os cientistas usam quando nossos sentidos não conseguem decidir o que é real. Eles criam um "modelo" do que *poderia* estar acontecendo, depois o testam. Imaginamos — você poderia dizer que tentamos adivinhar — qual seria a situação. Em seguida, calculamos (normalmente pela matemática) o que deveríamos ver, ouvir etc. se o modelo fosse verdadeiro (em geral com ajuda de instrumentos de medição). Verificamos se foi isso mesmo o que vimos na realidade. O modelo pode ser de vários tipos: uma maquete feita de madeira ou plástico, uma série de cálculos matemáticos no papel ou uma *simulação* por computador. Examinamos atentamente o modelo e *predizemos* o que teríamos de ver (ouvir etc.) com os nossos sentidos (auxiliados talvez por instrumentos) se o modelo fosse correto. Por fim, averiguamos se as predições estão certas ou erradas. Se estiverem certas, isso aumenta nossa confiança de que o modelo representa mesmo a realidade; passamos então a criar novos experimentos, talvez refinando o modelo, para testar novamente as conclusões e confirmá-las. Se nossas predições estiverem erradas, rejeitamos o modelo, ou o modificamos e fazemos uma nova tentativa.

Vejamos um exemplo. Hoje, sabemos que os genes, as unidades da hereditariedade, são feitos de uma substância chamada DNA. Temos bons conhecimentos sobre o DNA e como ele funciona. Mas não podemos ver detalhadamente como ele é, nem mesmo com um microscópio. Quase tudo o que sabemos sobre o DNA provém, indiretamente, de modelos que foram imaginados e testados.

Na verdade, muito antes que alguém tivesse ouvido falar em DNA, os cientistas já tinham descoberto várias coisas sobre os genes testando predições de modelos. No século XIX, um monge austríaco, Gregor Mendel, fez experimentos na horta de seu mosteiro, cruzando ervilhas em grandes quantidades. Ao longo de gerações dessas plantas, ele contou quantas tinham flores de várias cores e quantas tinham grãos enrugados ou lisos. Mendel nunca viu ou tocou um gene. Viu apenas ervilhas e flores, e usou seus olhos para *contar* os diversos tipos. Ele inventou um *modelo*, que envolvia o que nos dias de hoje chamamos de

genes (embora Mendel não usasse esse termo), e calculou que, se o modelo fosse correto, em dado experimento de cruzamento deveriam nascer três vezes mais ervilhas lisas que enrugadas. E foi isso mesmo que ele viu ao fazer a contagem. Deixando de lado os detalhes, o importante é que os "genes" de Mendel foram produto de sua imaginação: ele não os via, nem mesmo ao microscópio, mas via ervilhas lisas e enrugadas, e pela contagem delas encontrou evidências indiretas de que seu *modelo* de hereditariedade era uma boa representação de algo no mundo real. Tempos depois, cientistas usaram uma modificação do método de Mendel, trabalhando com outros seres vivos, como drosófilas, em vez de ervilhas, para mostrar que os genes se encadeiam em uma ordem definida ao longo de filamentos chamados cromossomos (nós, humanos, temos 46 deles; as drosófilas têm oito). Foi possível até calcular, testando modelos, a ordem exata na qual os genes se dispunham. Tudo isso foi feito muito antes de sabermos que os genes eram feitos de DNA.

Hoje temos esse conhecimento, e sabemos exatamente como o DNA funciona, graças a James Watson e Francis Crick, além de muitos outros cientistas que vieram depois deles. Watson e Crick não puderam ver o DNA a olho nu — também fizeram suas descobertas imaginando modelos e testando-os. Eles construíram modelos de papelão e metal representando uma possível estrutura do DNA e calcularam quais teriam de ser as medidas se tais modelos fossem corretos. As predições de um dos modelos, chamado de dupla hélice, corresponderam exatamente às medições feitas por Rosalind Franklin e Maurice Wilkins usando instrumentos especiais que projetavam raios X

em cristais de DNA purificado. Watson e Crick também perceberam imediatamente que seu modelo da estrutura do DNA produziria exatamente o tipo de resultados encontrado por Gregor Mendel na horta de seu mosteiro.

Portanto, temos três modos de saber o que é real. Podemos detectar diretamente com nossos cinco sentidos; indiretamente, com instrumentos especiais como telescópios e microscópios auxiliando nossos sentidos; ou ainda mais indiretamente, criando modelos do que *poderia* ser real e fazendo uma série de testes para ver se eles predizem corretamente o que podemos ver (ouvir etc.), com ou sem a ajuda de instrumentos. Em última análise, de um modo ou de outro tudo será confirmado por nossos sentidos.

Isso quer dizer que a realidade contém apenas coisas que podem ser detectadas, direta ou indiretamente, pelos nossos sentidos e pelos métodos da ciência? Mas e coisas como ciúme e prazer, felicidade e amor? Não são também reais?

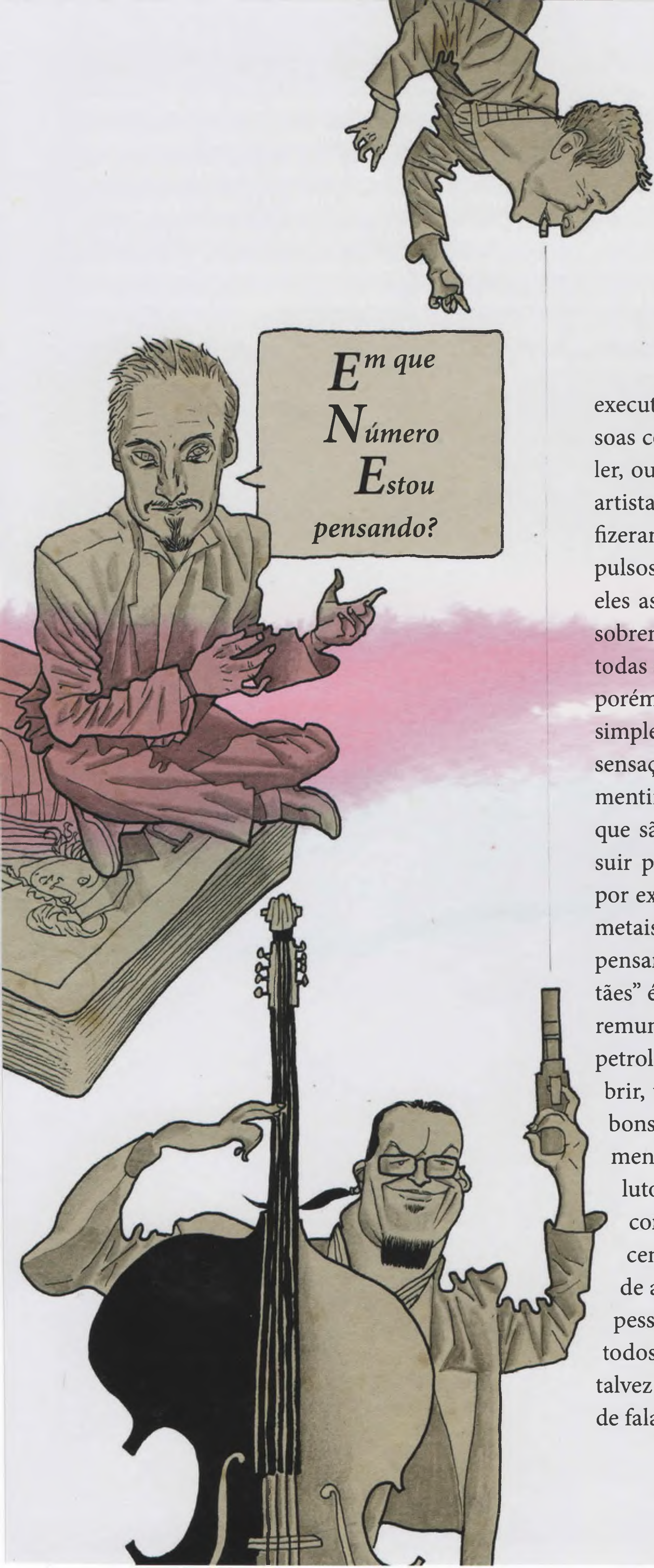
Sim, são reais. Mas para existir dependem do cérebro: do cérebro humano, com certeza, e provavelmente também do cérebro de outras espécies animais avançadas, como chimpanzés, cães e baleias. Pedras não sentem alegria nem ciúme, montanhas não amam. Essas emoções são intensamente reais para quem as sente, mas não existiam antes de o cérebro existir. É possível que emoções desse tipo — e talvez outras com as quais nem sonhamos — existam em outros planetas, mas apenas naqueles que contenham cérebros, ou algo equivalente a eles, pois quem sabe que estrambóticos órgãos pensantes ou máquinas providas de sentimentos podem existir em outras partes do universo?

A ciência e o sobrenatural: a explicação e seu inimigo

Então essa é a realidade, e é assim que podemos saber se uma coisa é ou não real. Cada capítulo deste livro tratará de um aspecto específico da realidade — o Sol, os terremotos, o arco-íris ou os muitos tipos de animais. Agora quero falar sobre a outra palavra-chave do meu título: magia. É uma palavra ardilosa. Costumamos usá-la em três sentidos diferentes, e a primeira coisa que preciso fazer é distingui-los. Chamarei o primeiro de "magia sobrenatural", o segundo de "magia de palco" e o terceiro (que é o meu sentido favorito e o que eu tinha em mente no meu título) de "magia poética".

Magia sobrenatural é aquela descrita nos mitos e contos de fadas. (E também nos "milagres", mas deixarei estes para examinar no último capítulo.) É a magia da lâmpada de Aladim, dos feitiços de bruxa, das histórias dos irmãos Grimm, de Hans Christian Andersen e de J. K. Rowling. É a magia ficcional da bruxa que transforma um príncipe num sapo, ou da fada madrinha que faz uma abóbora virar uma luxuosa carruagem. Essas são histórias da nossa infância que recordamos com ternura, e muitos de nós ainda apreciam quando são representadas em um espetáculo de Natal. Mas todos sabemos que esse tipo de magia é apenas ficção e não acontece na realidade.

A magia de palco, em contraste, realmente acontece e pode ser muito divertida. Ou, pelo menos, *alguma coisa* realmente acontece, embora não seja o que a plateia está pensando. Um homem num palco (costuma ser um homem, não sei por quê, então usarei "ele"; mas você pode trocar por "ela", se preferir) nos ilude, fazendo-nos pensar que algo espantoso (talvez até *sobrenatural*) aconteceu, quando o que *realmente* houve foi uma coisa bem diferente. Lenços de seda não podem ser transformados em coelhos, do mesmo modo que sapos não podem virar príncipes. O que vemos no palco é apenas um truque. Nossos olhos nos enganam — ou melhor, o mágico se empenha em iludir nossos olhos, às vezes usando palavras com astúcia para nos distrair do que ele está fazendo com as mãos.

Alguns mágicos são honestos e fazem questão de que a plateia saiba que eles simplesmente

executaram um truque. Estou falando de pessoas como James “o Incrível” Randi, Penn e Teller, ou Derren Brown. Embora esses admiráveis artistas não costumem explicar exatamente *como* fizeram um truque (até porque poderiam ser expulsos do Círculo Mágico, o clube dos mágicos), eles asseguram ao público que nenhuma magia sobrenatural aconteceu. Outros não dizem com todas as letras que tudo não passa de um truque, porém não ficam alardeando o que não fizeram; simplesmente deixam a plateia com a prazerosa sensação de que algo misterioso aconteceu, sem mentir. Infelizmente, existem alguns mágicos que são desonestos de propósito e fingem possuir poderes “sobrenaturais” ou “paranormais”; por exemplo, dizem que são capazes de entortar metais ou parar relógios apenas pelo poder do pensamento. Alguns desses farsantes (“charlatães” é um bom adjetivo para eles) recebem altas remunerações de companhias mineradoras ou petroleiras porque se dizem capazes de descobrir, usando “poderes psíquicos”, onde estão os bons lugares para fazer sondagem. Outros homens desse tipo exploram pessoas que vivem o luto dizendo-se capazes de entrar em contato com os mortos. Quando essas coisas acontecem, não se trata de divertir ou entreter, mas de abusar da credulidade ou do desespero das pessoas. Sejamos justos: é possível que nem todos esses indivíduos sejam charlatães. Alguns talvez acreditem sinceramente que são capazes de falar com os mortos.

O terceiro significado de magia é aquele que tenho em mente no título: a magia poética. Uma música bonita pode nos comover até as lágrimas, e por vezes dizemos que uma apresentação foi "mágica". Fitamos as estrelas numa noite escura sem lua, longe das luzes da cidade, e, deslumbrados, dizemos que é uma visão de "pura magia". Poderíamos usar essa mesma palavra para descrever um maravilhoso pôr do sol, uma paisagem dos Alpes ou um arco-íris no céu. Nesse sentido, "mágico" significa profundamente comovente, estimulante, algo que nos deixa arrepiados e nos faz sentir plenamente vivos. O que espero mostrar a você neste livro é que a realidade — os fatos do mundo real como são compreendidos através dos métodos da ciência — é mágica nesse terceiro sentido, o sentido poético, o sentido de que é bom estar vivo.

Agora quero voltar à ideia do sobrenatural e explicar por que ela nunca pode nos oferecer uma explicação verdadeira para as coisas que vemos neste planeta e no universo que nos cerca. Dar uma explicação sobrenatural para alguma coisa não explica nada e, pior ainda, exclui qualquer possibilidade de essa coisa vir a ser explicada no futuro. Por que digo isso? Porque, por definição, uma coisa "sobrenatural" tem de estar fora do alcance de uma explicação natural. Tem de estar fora do alcance da ciência e do método muito bem estabelecido, testado e aprovado que tem sido responsável pelos imensos avanços no conhecimento que nos beneficiam há cerca de quatrocentos anos. Dizer que algo sobrenatural aconteceu não é apenas dizer "não entendemos isso", mas afirmar "nunca entenderemos, por isso nem tente".

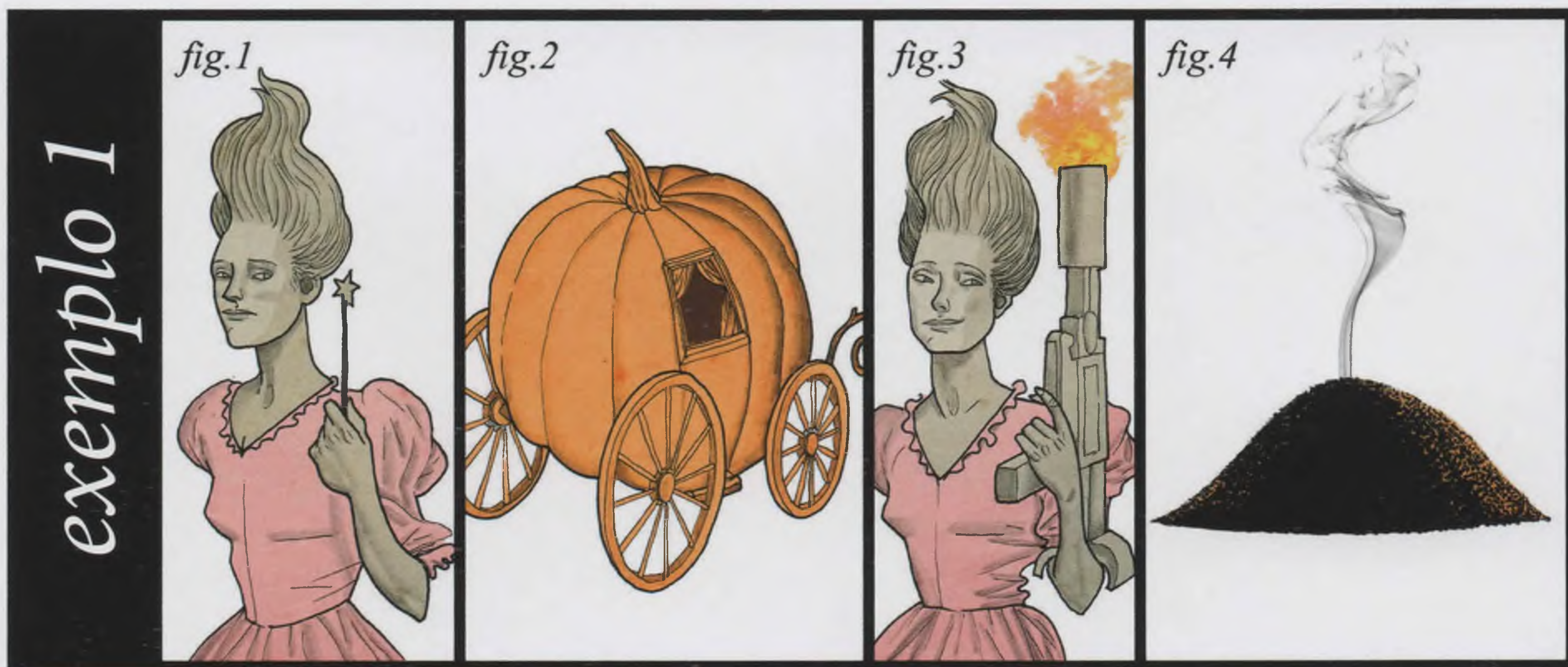
A ciência faz exatamente o contrário. Quando encontra alguma coisa que não sabe explicar, aproveita e faz perguntas, cria modelos possíveis e os testa; e assim vamos avançando, aos poucos, em direção à verdade. Se acontece alguma coisa que contraria a noção que temos da realidade, os cientistas veem isso como uma refutação do modelo que eles mesmos criaram, sendo então preciso abandoná-lo ou alterá-lo. É por meio desses ajustes e testes subsequentes que nos aproximamos cada vez mais da verdade.

O que você pensaria de um detetive que, não conseguindo explicar um assassinato, tem preguiça de tentar desvendar o mistério e apela para a simples explicação de que é um caso "sobrenatural"? Toda a história da ciência mostra que muito do que já foi atribuído ao sobrenatural — causado por deuses (felizes ou zangados), demônios, bruxas, espíritos, maldições e feitiços — na verdade tem explicações naturais, explicações que podemos compreender e testar até considerar confiáveis. Não existe nenhuma razão para acreditar que as coisas para as quais a ciência *ainda* não tem uma explicação natural são sobrenaturais, do mesmo modo que os vulcões, terremotos e doenças não são causados por deuses furiosos, como antes se acreditava.

É claro que ninguém acredita realmente que seria possível transformar uma abóbora numa carruagem ou um sapo num príncipe. (Ou será um príncipe num sapo? Nunca consigo me lembrar.) Mas alguma vez você já parou para pensar *por que* coisas assim seriam impossíveis? Há várias maneiras de responder a essa pergunta. Eis a minha favorita.

Sapos e carruagens são coisas complexas, com inúmeras partes que precisam ser reunidas de um modo específico, segundo um padrão que não se forma por acaso (ou por um movimento de varinha mágica). É isso que significa "complexo". É dificílimo produzir algo complexo como um sapo ou uma carruagem. Para fazer uma carruagem, é necessário montar todas as partes do modo exato. É preciso ter a habilidade de um carpinteiro e outros artesãos. Carruagens não surgem por acaso, nem se você estalar os dedos ou disser "abracadabra". Uma carruagem tem estrutura, complexidade, diversas partes com fun-

exemplo 1

fig.1 *fig.2* *fig.3* *fig.4*

ções específicas — rodas e eixos, janelas e portas, molas e assentos acolchoados. Seria relativamente fácil transformar algo complexo como uma carruagem em algo simples como cinzas, por exemplo. A fada madrinha só precisaria de um bom maçarico. Quase qualquer coisa pode facilmente ser transformada em cinzas. Mas ninguém é capaz de pegar um monte de cinzas — ou uma abóbora — e transformar numa carruagem, porque se trata de algo muito complexo, até em um sentido utilitário: uma carruagem tem a finalidade de transportar pessoas.

Facilitemos as coisas para a fada madrinha. Suponhamos que, em vez de recorrer a uma abóbora, ela tivesse todas as *partes* necessárias para montar uma carruagem misturadas dentro de uma caixa, como naqueles kits para montar modelos de aviões. O kit para fazer uma carruagem consiste em centenas de tábuas, painéis de vidro, hastes e barras de aço, espumas, pedaços de couro, além de pregos, parafusos e cola para unir tudo. Agora suponhamos que, em vez de ler as instruções e unir as partes na sequência correta, ela simplesmente ponha tudo dentro de um grande saco e o chacoalhe. Qual a chance de que as partes venham a se unir do modo certo para montar uma carruagem? A resposta é: praticamente nenhuma. E parte da razão é o número imenso de modos *possíveis* em que os pedaços poderiam se combinar sem produzir uma carruagem ou *qualquer coisa* útil.

Se você pegar inúmeras partes e sacudi-las de qualquer jeito, é possível que em algum momento elas venham a se juntar de um modo que tenha alguma utilidade ou que possamos reconhecer como especial. Mas a probabilidade de isso acontecer é irrisória, insignificante se comparada aos inúmeros modos em que a mistura apenas produzirá um monte de lixo. Há milhões de modos de misturar e remisturar uma porção de pedaços avulsos: milhões de modos de transformá-los em... outro monte de pedaços avulsos. Toda vez que você os mistura, obtém uma pilha de lixo única, nunca vista antes — mas só uma ínfima minoria desses milhões de pilhas possíveis será útil para alguma coisa (por exemplo, para levar a moça ao baile) ou será digna de nota por qualquer outra razão.

exemplo 2

fig.1

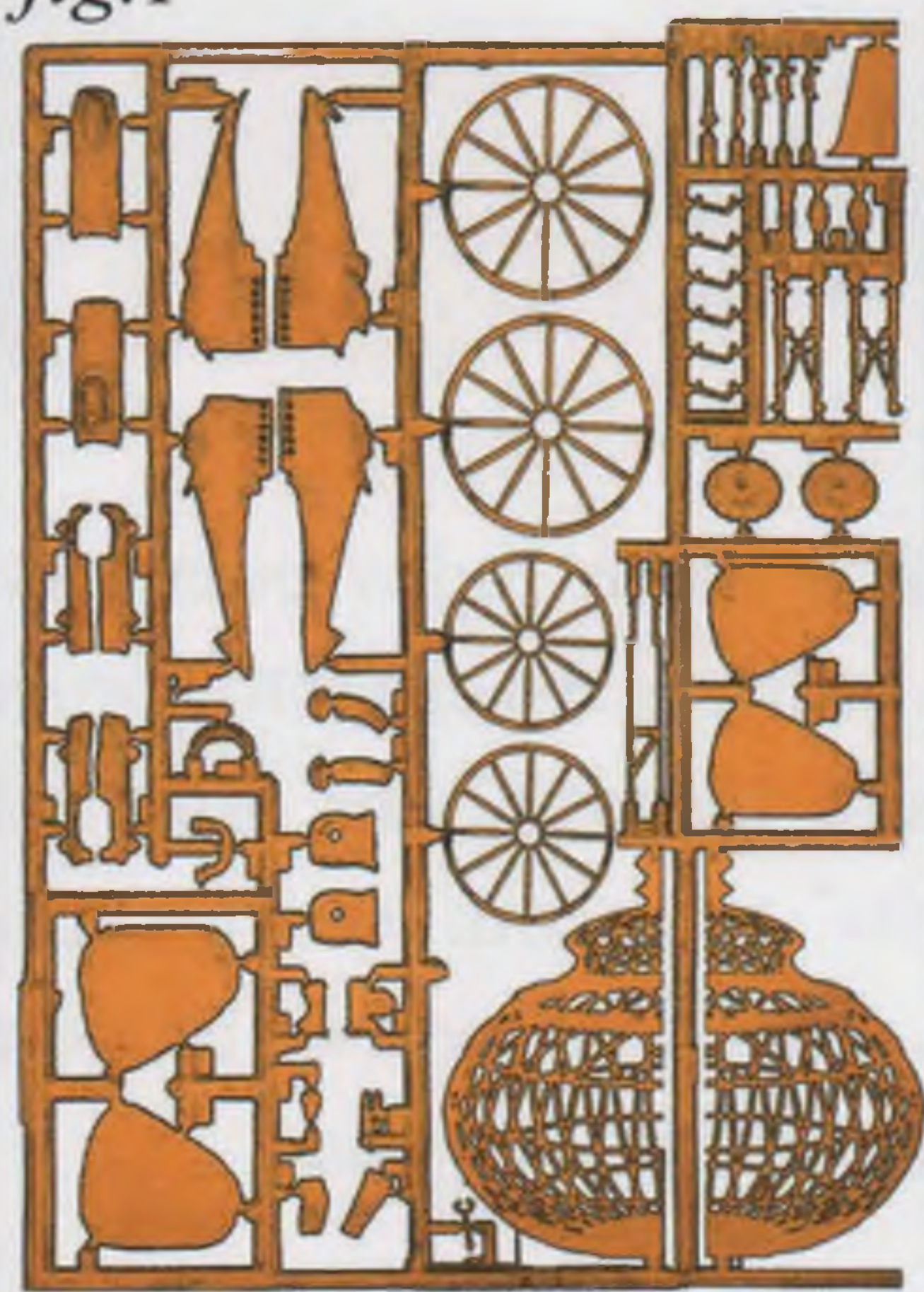
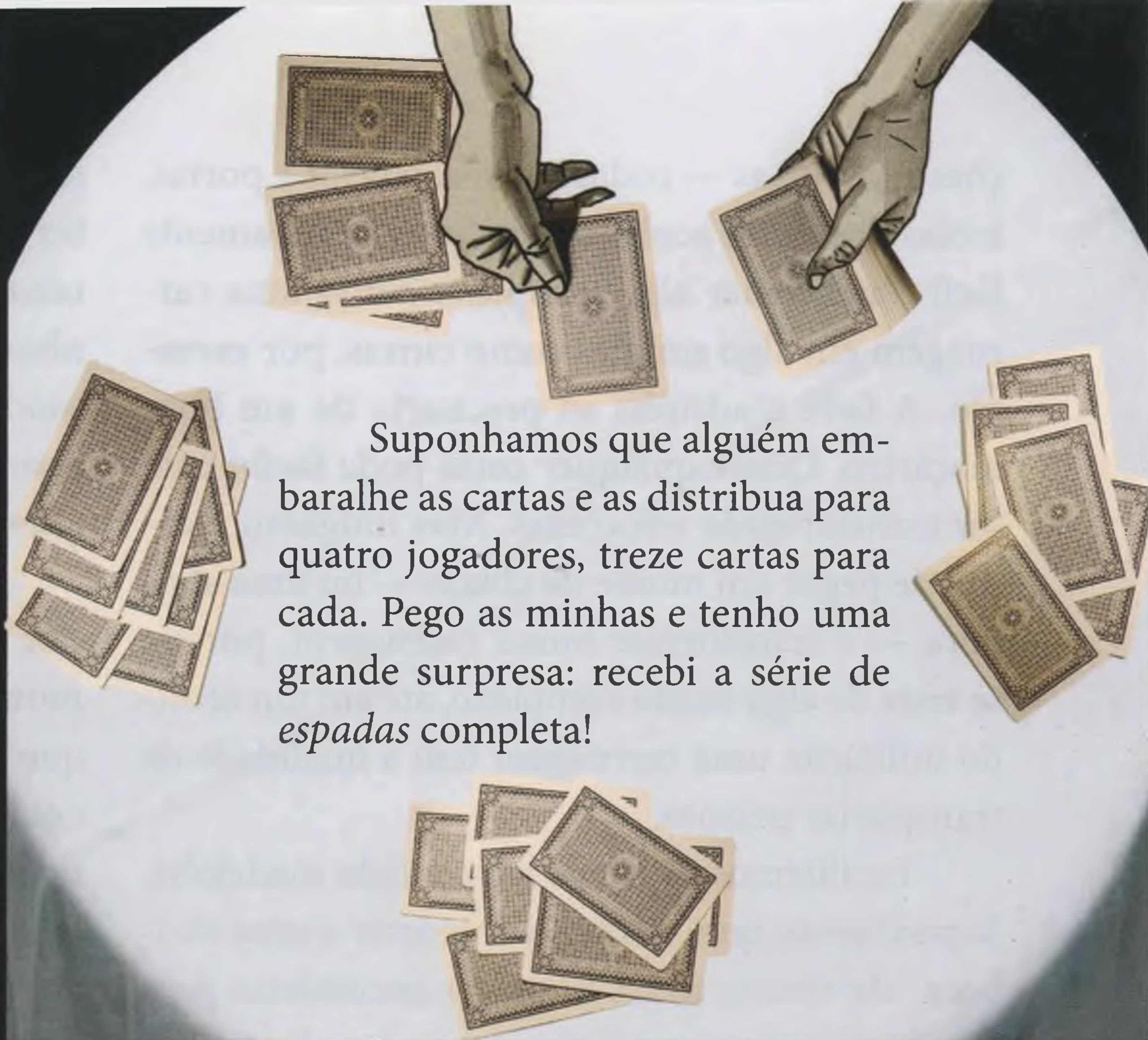



fig.2

fig.3

Às vezes, podemos contar quantas maneiras existem de organizar uma série de partes — como em um baralho, considerando cada carta uma "parte".

Suponhamos que alguém embaralhe as cartas e as distribua para quatro jogadores, treze cartas para cada. Pego as minhas e tenho uma grande surpresa: recebi a série de *espadas* completa!

Estou tão perplexo que nem consigo jogar e mostro minhas cartas aos outros, achando que também vão ficar espantados.

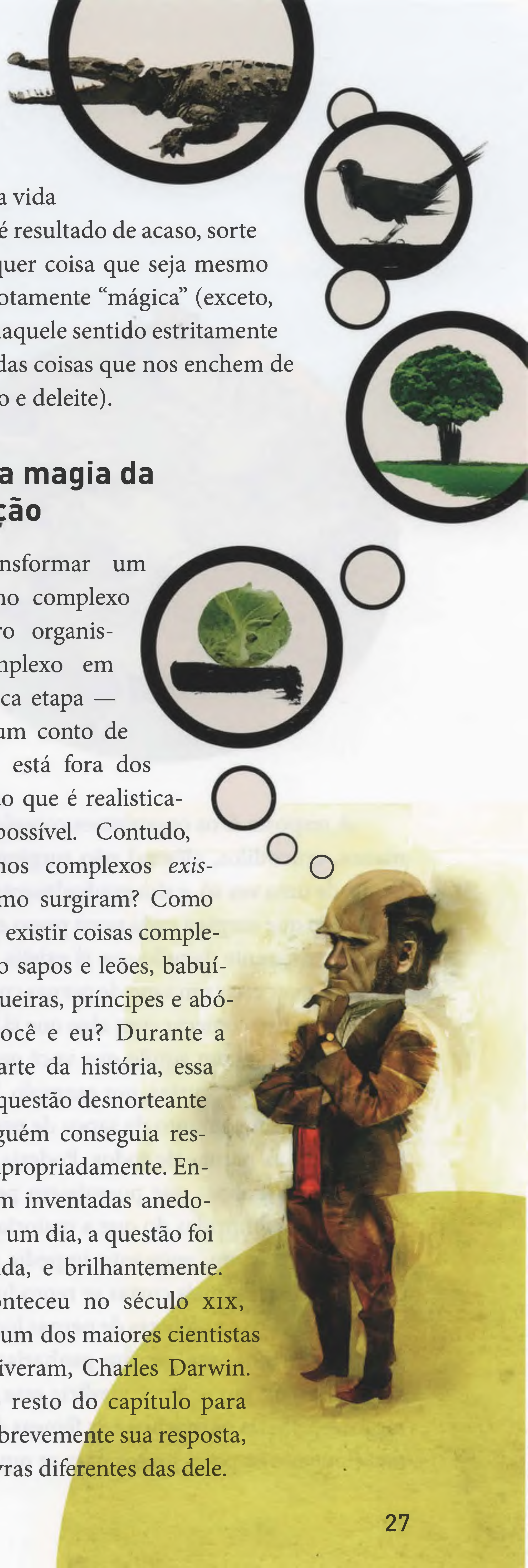
Mas então todos põem suas cartas na mesa, e o espanto aumenta. Cada jogador tem uma mão "perfeita": uma com treze cartas de copas, outra com treze de ouros e a última com treze de paus.

Isso seria magia sobrenatural? Poderíamos ficar tentados a achar que sim. Os matemáticos sabem calcular a probabilidade de que essa combinação aconteça por puro acaso. É infinitamente pequena: 1 em 536 447 737 765 488 792 839 237 440 000. Acho que eu nem saberia como dizer esse número! Se você se sentasse e jogasse cartas durante um trilhão de anos, receberia uma mão perfeita como a do nosso exemplo em uma ocasião. Só que — e aí está o X da questão — essa mão não é mais improvável do que *qualquer outra mão de cartas que já tenha sido distribuída*! A chance de *qualquer* mão específica de 52 cartas é 1 em 536 447 737 765 488 792 839 237 440 000, porque esse é o número de todas as combinações possíveis. Acontece, simplesmente, que não notamos nenhum padrão específico na imensa maioria de mãos distribuídas e por isso elas não nos parecem fora do comum. Reparamos apenas quando por acaso uma mão se destaca de alguma forma.

Há bilhões de coisas em que você poderia transformar um príncipe se fosse brutal a ponto de montar os pedaços dele em bilhões de combinações aleatórias. Mas a maioria dessas combinações resultaria numa tremenda confusão — como aqueles bilhões de mãos de cartas sem nexo, aleatórias, que foram distribuídas. Apenas uma irrisória minoria dessas possíveis combinações de pedaços de príncipe embaralhados produziria algo reconhecível ou bom para alguma coisa, e ainda mais dificilmente produziria um sapo.

Príncipes não viram sapos e abóboras não viram carruagens porque sapos e carruagens são coisas complexas cujas partes poderiam ter se combinado em um número quase infinito de pilhas de lixo. No entanto, sabemos que cada ser vivo — pessoa, crocodilo, pardal, árvore ou alface — evoluiu de outras formas, originalmente mais simples. Mas então *isso* não é um processo fortuito ou algum tipo de magia? Não! Absolutamente não! Esse é um equívoco muito comum, e por isso quero explicar agora mesmo porque aquilo que vemos na vida real não é resultado de acaso, sorte ou qualquer coisa que seja mesmo que remotamente "mágica" (exceto, é claro, naquele sentido estritamente poético das coisas que nos enchem de assombro e deleite).

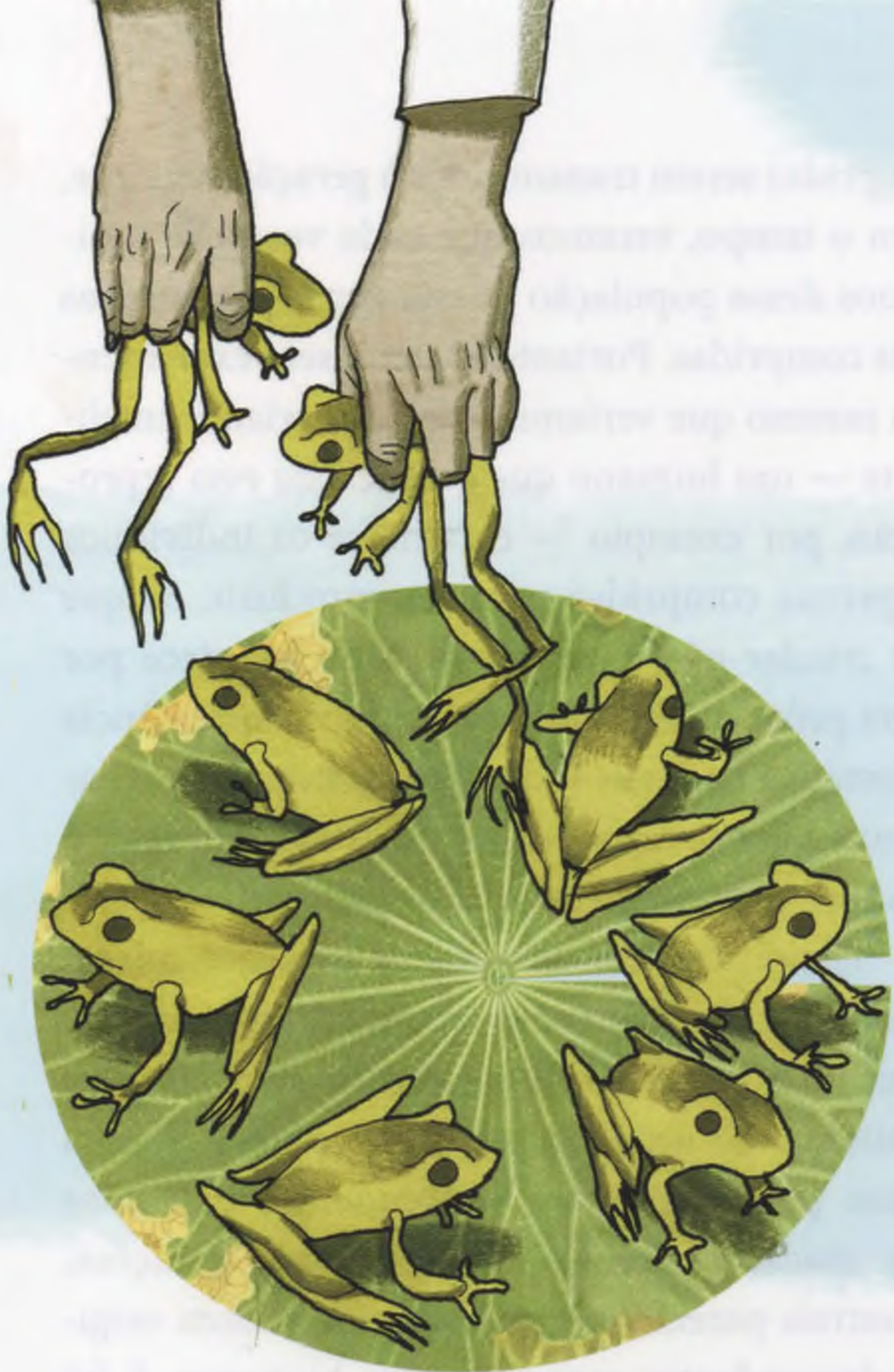
A lenta magia da evolução

Transformar um organismo complexo em outro organismo complexo em uma única etapa — como num conto de fadas — está fora dos limites do que é realisticamente possível. Contudo, organismos complexos *existem*. Como surgiram? Como vieram a existir coisas complexas como sapos e leões, babuínos e figueiras, príncipes e abóboras, você e eu? Durante a maior parte da história, essa foi uma questão desnorteante que ninguém conseguia responder apropriadamente. Então foram inventadas anedotas. Mas, um dia, a questão foi respondida, e brilhantemente. Isso aconteceu no século XIX, graças a um dos maiores cientistas que já viveram, Charles Darwin. Usarei o resto do capítulo para explicar brevemente sua resposta, em palavras diferentes das dele.

A resposta é: os organismos complexos (humanos, crocodilos, alfaces) não surgiram de repente, de uma vez só, e sim gradualmente, passo a passo. E o que surgia a cada novo passo era só um tantinho diferente daquilo que já existia. Imagine que você quer criar um sapo de pernas compridas. Seria vantajoso começar com algo que já fosse um pouco parecido com aquilo que você quer obter: um sapo de pernas curtas, por exemplo. Você poderia pegar um conjunto de sapos de pernas curtas e medir as pernas de todos. Poderia escolher alguns sapos e sapas que possuíssem pernas um pouco mais compridas do que a maioria e deixar que eles cruzassem, enquanto impedia que seus colegas de pernas mais curtas se reproduzissem.

Os machos e as fêmeas de pernas longas produziriam girinos, que por fim ganhariam pernas e se tornariam sapos. Você mediria essa nova geração, escolheria os machos e as fêmeas de pernas mais longas e os poria juntos para se reproduzir.

Depois de fazer isso por umas dez gerações, você poderia começar a notar uma coisa interessante. O comprimento médio das pernas da sua população de sapos seria agora visivelmente maior do que o comprimento médio das pernas da população inicial. Você talvez até concluísse que *todos* os sapos da décima geração têm pernas mais longas do que qualquer sapo da primeira geração. Ou, talvez, dez gerações não sejam suficientes para obter esse resultado. Quem sabe você precise de vinte gerações, ou até mais. No entanto, um belo dia finalmente você poderá dizer com orgulho: "Obtive um novo tipo de sapo com pernas mais compridas do que o antigo".

Não foi preciso varinha mágica. Nenhum tipo de magia. O que aconteceu foi um processo chamado *reprodução seletiva*, baseado no fato de que os tipos de sapo variam e essas variações tendem a ser herdadas, ou seja, transmitidas dos pais aos filhos através dos genes. Simplesmente esco-

lhendo quais sapos vão se reproduzir e quais não vão, podemos obter um novo tipo de sapo.

Simples, não? Mas conseguir pernas mais compridas não é muito impressionante. Afinal, já começamos com sapos. Eles só tinham pernas mais curtas. Suponha que você começasse não com um tipo de sapo de pernas mais curtas, mas com um animal diferente — por exemplo, com um tipo de salamandra. A salamandra possui pernas traseiras bem mais curtas que as do sapo e as usa não para saltar, mas para andar. A salamandra tem cauda longa, o sapo não tem cauda. Além disso, em geral as salamandras têm o corpo mais comprido e estreito do que a maioria dos sapos. Mas acho que você consegue perceber que, ao longo de milhares de gerações, seria possível transformar uma população de salamandras numa população de sapos simplesmente escolhendo com paciência, em cada uma dessas gerações, salamandras machos e fêmeas que fossem apenas um tantinho mais parecidas com sapos e deixar que cruzassem, impedindo ao mesmo tempo o cruzamento de seus colegas menos parecidos com sapos. Em nenhuma etapa isolada desse processo você veria uma mudança drástica. Cada geração seria bem parecida com a anterior, mas ainda assim, depois de um número suficiente de gerações, você começaria a notar que o comprimento médio da cauda diminuiu ligeiramente e que o comprimento médio das pernas traseiras aumentou um pouquinho. Depois de muitas gerações, talvez os indivíduos de pernas mais compridas e cauda mais curta começassem a achar mais fácil usar as pernas para saltar em vez de rastejar. E assim por diante.

Evidentemente, na situação que acabei de descrever, nos imaginamos como diretores da reprodução, escolhendo machos e fêmeas que vão cruzar, tendo em vista um resultado final que *nós* escolhemos. Os agricultores usam essa técnica

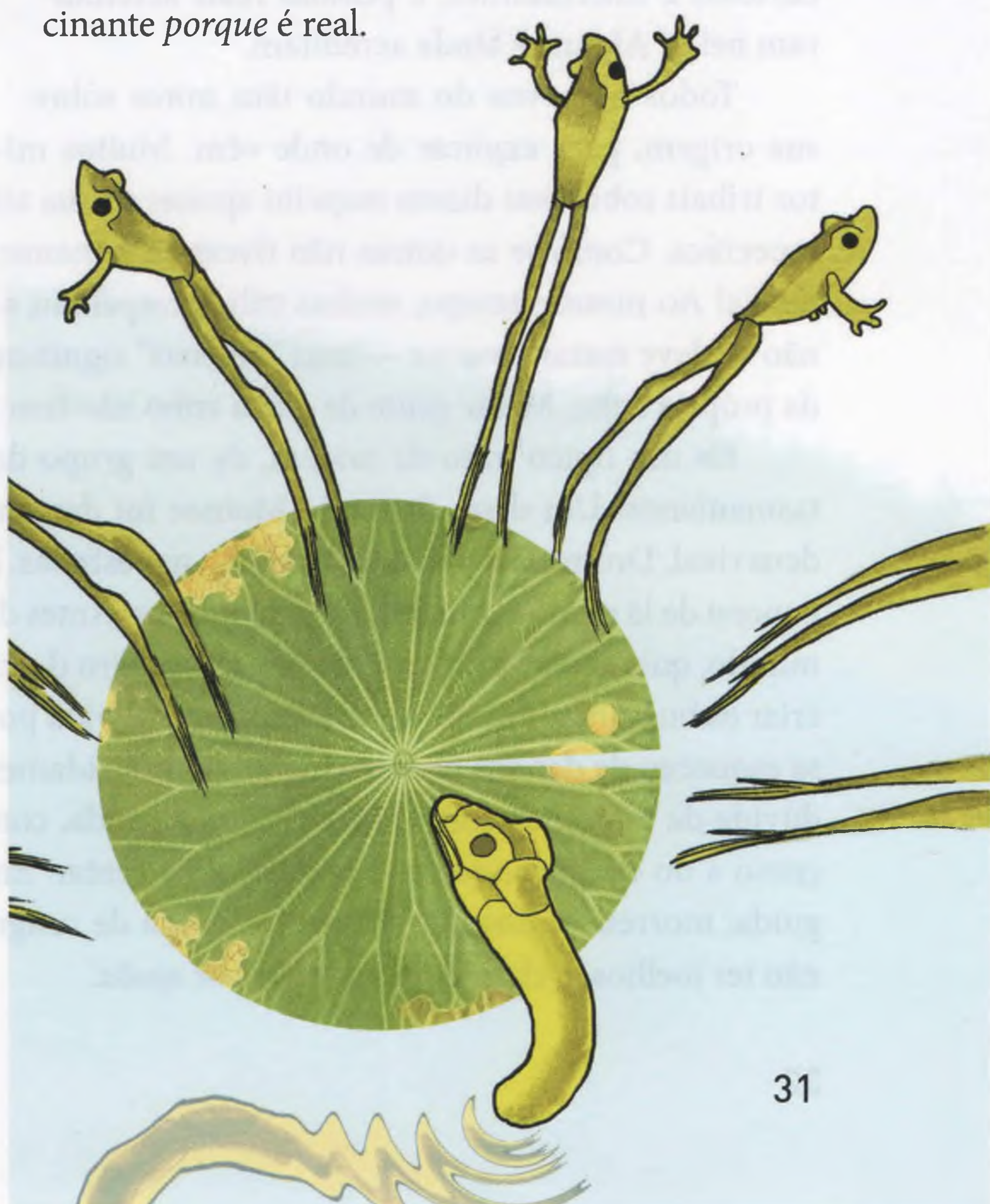
há milhares de anos para obter animais e plantas mais produtivos ou resistentes a doenças. Darwin foi a primeira pessoa a compreender que isso funciona *mesmo quando não há ninguém fazendo a escolha.* Ele percebeu que tudo acontece *naturalmente,* sem interferência, pela simples razão de que alguns indivíduos sobrevivem por tempo suficente para se reproduzir enquanto outros não, e que os que sobrevivem são mais bem equipados para sobreviver do que os outros. Assim, seus filhos herdam os genes que ajudaram os pais a viver mais. Sejam salamandras ou sapos, ouriços ou margaridas, sempre haverá indivíduos que têm mais condições de sobreviver do que outros. Se pernas compridas ajudarem (o sapo ou gafanhoto a saltar e fugir de um perigo, por exemplo, um guepardo caçar gazelas ou uma gazela fugir dos guepardos), os indivíduos com pernas mais longas terão menor probabilidade de morrer. E maior probabilidade de viver tempo suficiente para se reproduzir. Além disso, um número maior dos indivíduos disponíveis para ele se acasalar terá pernas compridas. Desse modo, em cada geração haverá maior probabilidade de os genes para pernas mais compridas serem transmitidos à geração seguinte. Com o tempo, veremos que cada vez mais indivíduos dessa população possui genes para pernas mais compridas. Portanto, o efeito será exatamente o mesmo que veríamos caso um criador inteligente — um humano que gerenciasse essa reprodução, por exemplo — escolhesse os indivíduos de pernas compridas para se reproduzir. *Só que esse criador não é necessário*: tudo acontece por conta própria, naturalmente, como consequência automática de quais indivíduos sobrevivem o suficiente para se reproduzir e quais não. Por isso, o processo é chamado de *seleção natural.*

Depois de certo número de gerações, ancestrais que se pareciam com salamandras podem ter descendentes que se parecem com sapos. Depois de ainda mais gerações, ancestrais parecidos com peixes podem originar descendentes parecidos com macacos. Depois de ainda mais gerações, ancestrais parecidos com bactérias podem originar descendentes parecidos com humanos. E foi exatamente isso que aconteceu na história de cada animal e planta que existe ou existiu neste planeta. O número de gerações necessárias é maior do

que podemos imaginar, mas o mundo tem bilhões de anos de existência, e sabemos pelos fósseis que a vida começou há mais de 3,5 bilhões de anos, tempo suficiente para a evolução ocorrer.

Essa foi a grande ideia de Darwin, conhecida como evolução pela seleção natural. É uma das mais importantes conclusões saídas de uma mente humana e explica quase tudo o que sabemos sobre a vida na Terra. Por ser tão importante, voltarei a ela em outros capítulos. Por enquanto, basta entender que a evolução é muito lenta e gradual. Aliás, é essa qualidade gradual que permite o surgimento de coisas complexas como sapos e príncipes. Uma transformação mágica de um sapo num príncipe não seria gradual, mas súbita, e é isso que a exclui da realidade. A evolução é uma explicação real e pode ser demonstrada por evidências reais; qualquer sugestão de que formas de vida complexas apareceram de repente (sem evoluir gradualmente, passo a passo) é pura invenção, como a magia ficcional da fada madrinha.

Quanto a abóboras que viram carruagens, os encantamentos mágicos também estão excluídos, do mesmo modo que para os sapos e príncipes. Carruagens não evoluem — pelo menos não naturalmente. Mas, tanto quanto aviões e enxadas, computadores e pontas de flecha, as carruagens são fabricadas por humanos, e *eles* evoluem. O cérebro e as mãos humanas evoluíram pela seleção natural, tão seguramente como a cauda da salamandra e as pernas do sapo. E o cérebro humano agora é capaz de projetar e criar carruagens e carros, tesouras e sinfonias, máquinas de lavar e relógios. Sem mágica. Sem truques. Explicando tudo, de um modo belo e simples.

No resto do livro, quero mostrar a você que o mundo real, como é entendido cientificamente, tem sua própria magia. Eu a chamo de magia poética, uma beleza inspiradora que é ainda mais mágica porque é real e podemos compreender como funciona. Em comparação à verdadeira beleza e magia do mundo real, o sobrenatural e os truques de palco parecem vulgares e sem graça. A magia da realidade não é sobrenatural, não é um truque. É absolutamente fascinante. Fascinante e real. Fascinante *porque* é real.

2 QUEM foi a primeira

A MAIORIA DOS CAPÍTULOS deste livro tem uma pergunta no título. Meu objetivo é responder a ela, ou pelo menos dar a melhor resposta possível: a da ciência. Mas quase sempre começarei com algumas explicações míticas, porque são curiosas e interessantes, e pessoas reais acreditaram nelas. Algumas ainda acreditam.

Todos os povos do mundo têm mitos sobre sua origem, para explicar de onde vêm. Muitos mitos tribais sobre isso dizem respeito apenas a uma tribo específica. Como se as outras não tivessem a menor importância! Ao mesmo tempo, muitas tribos respeitam a regra de que não se deve matar pessoas — mas "pessoas" significa apenas gente da própria tribo. Matar gente de outra tribo não tem problema.

Eis um típico mito de origem, de um grupo de aborígines tasmanianos. Um deus chamado Moinee foi derrotado por um deus rival, Dromerdeener, numa batalha nas estrelas. Moinee despencou de lá e caiu na Tasmânia para morrer. Antes de deixar este mundo, quis abençoar o local do seu derradeiro descanso e decidiu criar os humanos. Porém, apressado, com sua vida por um fio, ele se esqueceu de dar aos homens joelhos e distraidamente (sem dúvida de tanto que sofria) lhes deu uma cauda, comprida como a do canguru, que os impedia de se sentar. Em seguida, morreu. Todos detestaram ter cauda de canguru e não ter joelhos, e clamaram aos céus por ajuda.

PESSOA?

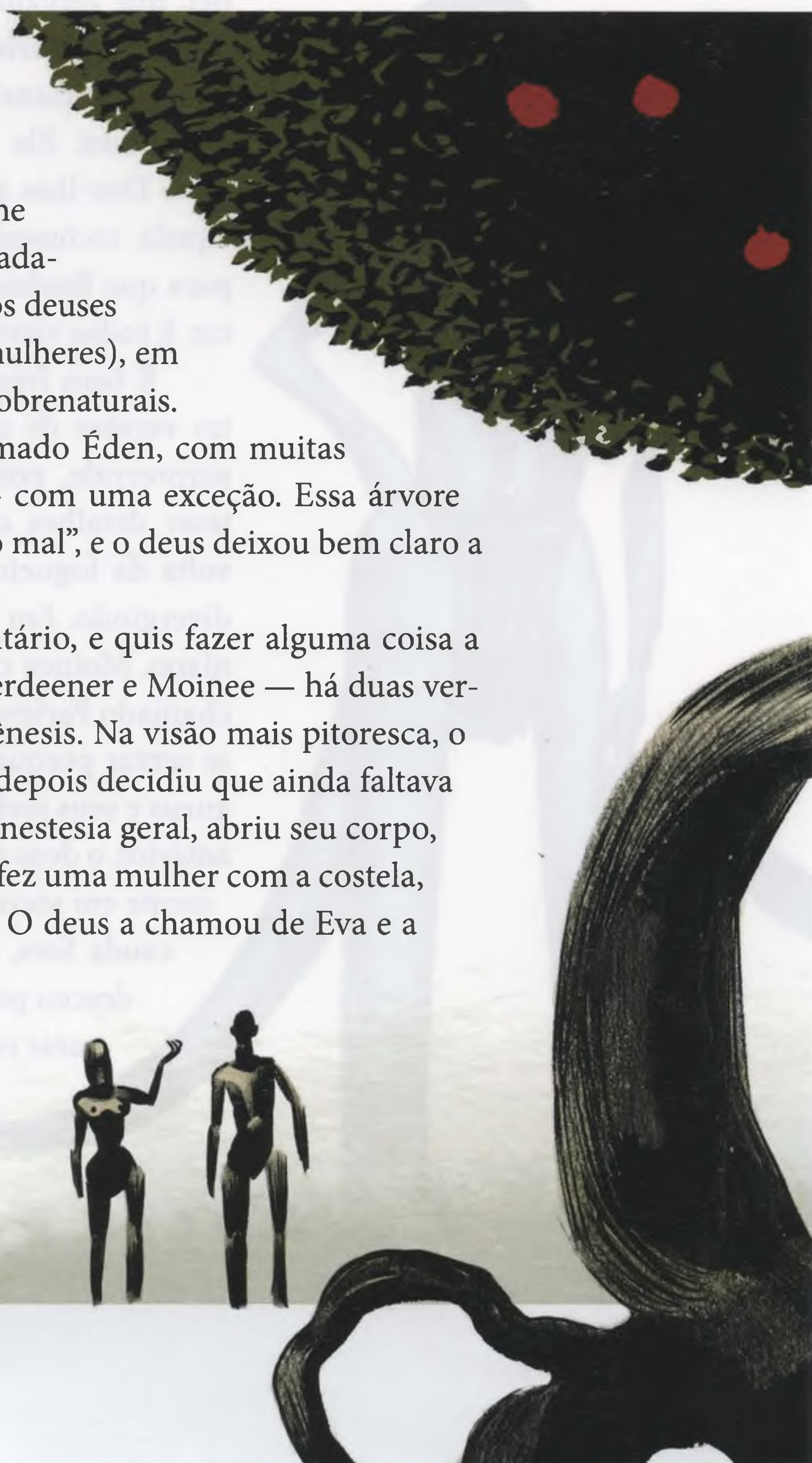
O poderoso Dromerdeener, que gargalhava pelo céu no desfile da vitória, ouviu o clamor e desceu à Tasmânia para ver o que se passava. Ele teve pena das pessoas. Deu-lhes joelhos e cortou fora aquela incômoda cauda de canguru para que finalmente pudessem se sentar. E todos viveram felizes para sempre.

É bem frequente encontrar diferentes versões de um mesmo mito. Isso não surpreende, pois as pessoas costumam alterar detalhes quando contam histórias em volta da fogueira; com isso, as narrativas vão divergindo. Em outra versão desse mito tasmaniano, Moinee cria lá no céu o primeiro homem, chamado Parlevar. Esse homem também não podia se sentar porque tinha uma cauda como a dos cangurus e seus joelhos não se dobravam. Como no caso anterior, o deus rival, agora Dromerdeener, veio rapidamente em socorro. Deu a Parlevar joelhos e cortou sua cauda fora, curando a ferida com sebo. Parlevar desceu pela estrada do céu (a Via Láctea) e foi parar na Tasmânia.

As tribos hebraicas do Oriente Médio tinham um deus único e o consideravam superior aos deuses das tribos rivais. Ele tinha vários nomes, que todos estavam proibidos de pronunciar. Esse deus fez o primeiro homem com o pó da terra e deu-lhe o nome de Adão (que significa "homem"). Deliberadamente, fez Adão parecido consigo. Aliás, a maioria dos deuses da história é retratada como homem (alguns como mulheres), em geral de tamanho gigantesco e sempre com poderes sobrenaturais.

Esse deus pôs Adão em um lindo jardim chamado Éden, com muitas árvores cujos frutos ele era incentivado a comer — com uma exceção. Essa árvore proibida era a "árvore do conhecimento do bem e do mal", e o deus deixou bem claro a Adão que daqueles frutos ele jamais deveria comer.

O deus percebeu que Adão devia se sentir solitário, e quis fazer alguma coisa a respeito. Nesse ponto — como na história de Dromerdeener e Moinee — há duas versões do mito, ambas relatadas no livro bíblico do Gênesis. Na visão mais pitoresca, o deus fez todos os animais como ajudantes de Adão, depois decidiu que ainda faltava alguma coisa: uma mulher! Por isso, deu a ele uma anestesia geral, abriu seu corpo, retirou uma costela e tornou a fechá-lo. Em seguida, fez uma mulher com a costela, como quem obtém uma flor a partir de uma muda. O deus a chamou de Eva e a apresentou a Adão como sua esposa.

Infelizmente havia no jardim uma serpente má, que se aproximou de Eva e a convenceu a dar a Adão o fruto proibido da árvore do conhecimento do bem e do mal. Adão e Eva comeram o fruto e imediatamente adquiriram o conhecimento de que estavam nus.

Isso os deixou envergonhados, e eles se cobriram com folhas de figueira. Quando o deus notou, ficou furioso por terem comido o fruto e adquirido conhecimento — e por terem perdido a inocência, suponho. Expulsou-os do jardim e os condenou, com todos os seus descendentes, a uma vida de trabalhos e sofrimento. Até hoje a história da terrível desobediência de Adão e Eva é levada a sério por muita gente, sob o nome de "pecado original". Algumas pessoas acreditam até que todos herdamos esse "pecado original" de Adão (embora muitas admitam que Adão nunca existiu realmente!) e que somos tão culpados quanto ele.

Os povos nórdicos da Escandinávia, os famosos vikings, tinham, assim como os gregos e os romanos, muitos deuses. O principal deles era Odin, também conhecido como Wotan ou Woden, de onde provém a palavra "Wednesday", que significa quarta-feira em inglês. ("Thursday", quinta-feira, vem de outro deus nórdico, Thor, que produzia trovões com seu martelo.)

Um dia, Odin andava pela praia com seus irmãos, também deuses, e encontrou dois troncos de árvore.

Eles transformaram um desses troncos no primeiro homem, e o chamaram de "Ask"; o outro, na primeira mulher, "Embla". Depois de criarem os corpos do primeiro homem e da primeira mulher, os irmãos deram-lhes o sopro da vida, seguido pela consciência, pelo rosto e pelo dom da fala.

Eu me pergunto: por que troncos de árvore? Por que não pingentes de gelo ou dunas de areia? Não é fascinante tentar imaginar quem terá criado essas histórias e por quê? Presumivelmente, os inventores originais de todos esses mitos sabiam que se tratava de ficção no momento em que os estavam elaborando. Ou então, podemos pensar, muitas pessoas criaram diferentes partes da história, em momentos e em lugares distintos, e outras pessoas mais tarde juntaram tudo, talvez mudando algumas coisas, sem perceber que as várias partes haviam sido originalmente inventadas?

Todos gostam de ouvir histórias e repeti-las. Mas quando encontramos uma realmente mirabolante, seja um mito antigo ou uma "lenda urbana" que se espalha pela internet, vale a pena parar e pensar se ela, ou alguma parte dela, é verdadeira. Por isso, façamos a nós mesmos a pergunta: quem foi a primeira pessoa? Vamos ver qual é a resposta verdadeira, a resposta da ciência.

Quem foi, *realmente*, a primeira pessoa?

VOCÊ TALVEZ se surpreenda, mas nunca houve uma primeira pessoa — porque toda pessoa precisa ter tido pais, e esses pais têm que ser pessoas também! O mesmo vale para os coelhos. Nunca houve um primeiro coelho, nem um primeiro crocodilo, nem uma primeira libélula. Toda criatura que já nasceu pertence à mesma espécie de seus pais (talvez haja um ínfimo número de exceções, mas não tratarei delas aqui). Portanto, isso significa que toda criatura já nascida pertenceu à mesma espécie de seus avós. E de seus bisavós. E tataravós. E assim por diante, infinitamente.

Infinitamente? Bem, não é tão simples assim. Teremos de gastar algum tempo com uma explicação, e começarei com um experimento mental. Um experimento mental é uma experiência que fazemos na imaginação. O que vamos imaginar não é algo possível na vida real porque nos leva muito para trás no tempo, muito antes de termos nascido. Mas *imaginar* a situação nos ensina algo importante. Vamos então ao nosso experimento mental. Tudo o que você precisa fazer é imaginar que está executando as instruções a seguir.

Pegue uma fotografia sua. Agora pegue uma de seu pai e ponha por cima. Sobre a do seu pai ponha uma do seu avô. E, agora, uma foto do seu bisavô, uma do seu tataravô. Provavelmente você não conheceu seus tataravós. Eu não conheci os

meus, mas sei que um deles era professor primário na zona rural, outro era médico no interior, outro era guarda florestal na Índia britânica e outro ainda era advogado, adorava creme e morreu praticando alpinismo em idade avançada. Mas mesmo se você não souber como era o pai do pai do pai do seu pai, pode imaginá-lo como uma espécie de figura indistinta, talvez numa fotografia desbotada num porta-retratos velho de couro. Agora faça o mesmo com o pai dele, seu pentavô. E continue empilhando as fotos, sucessivamente, voltando no tempo a cada antepassado seu. Você pode continuar a fazer isso até mesmo quando chegar a um momento em que a fotografia ainda não tinha sido inventada — afinal de contas, este é um experimento *mental*.

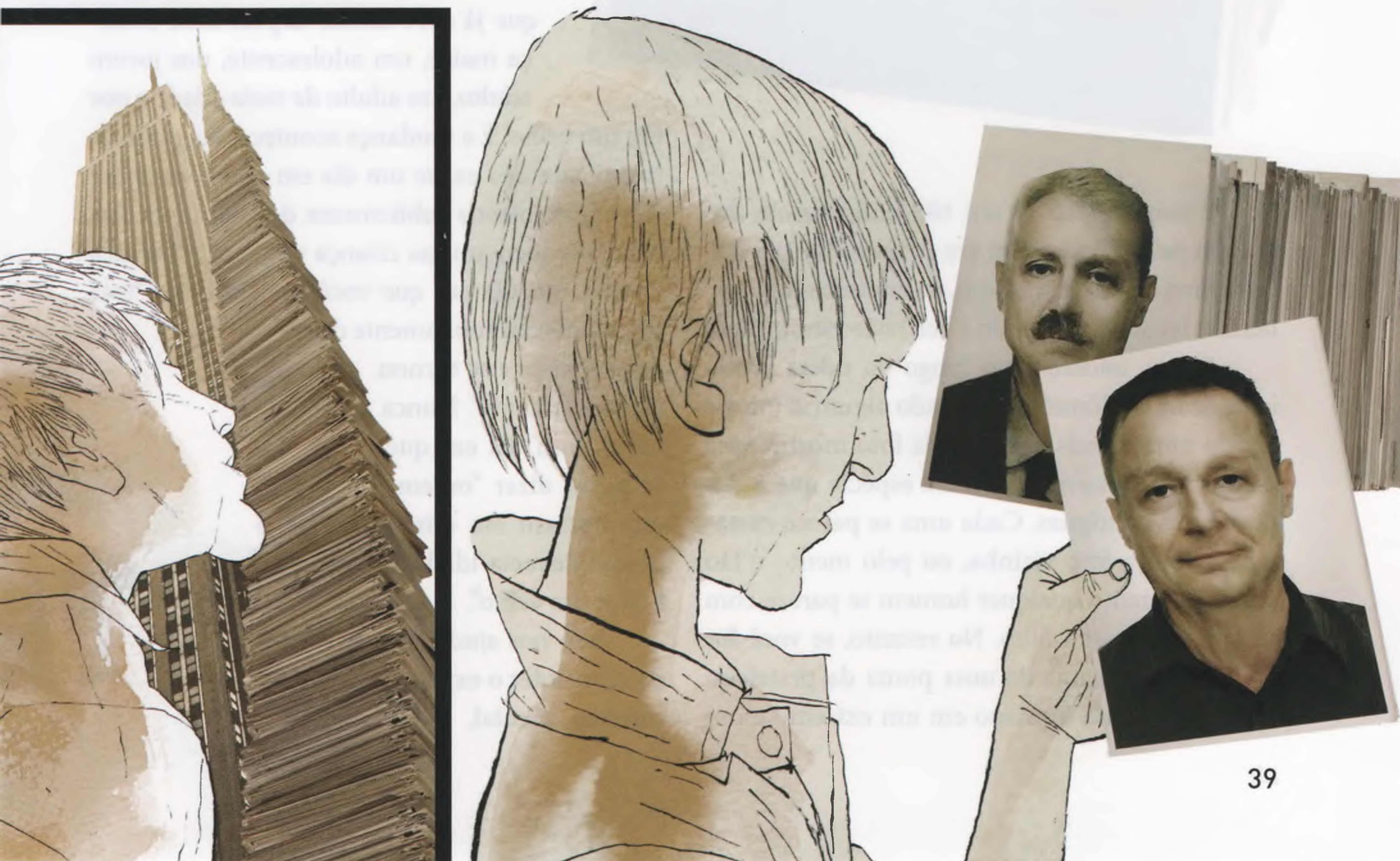
De quantos antepassados precisaremos em nosso experimento mental? Ora, meros 185 milhões já bastam!

Meros?

MEROS?

Não é fácil imaginar uma pilha com 185 milhões de fotos. Que altura ela teria? Bem, se cada foto fosse impressa numa folha com a espessura de um cartão-postal, 185 milhões de fotos dariam uma torre com quase 67 mil metros de altura. Isso é mais do que 180 arranha-céus um em cima do outro. Alto demais para escalar, mesmo se a pilha inteira não despencasse (o que certamente aconteceria). Por isso, vamos deitar a pilha e arrumar as fotos horizontalmente numa única prateleira de estante.

Qual será o comprimento dessa prateleira? Aproximadamente 64 quilômetros.

A ponta mais próxima da prateleira contém a sua fotografia. A mais distante, a do seu 185 milionésimo avô. Como ele era? Um velhote de cabelos ralos e costeletas? Um homem das cavernas vestido com pele de leopardo? Esqueça isso. Não sabemos como ele era exatamente, mas pelos fósseis podemos ter uma boa noção. Seu 185 milésimo avô era mais ou menos assim →

É isso mesmo. O seu 185 milionésimo avô era um peixe. E também era peixe a sua 185 milionésima avó — ainda bem, do contrário não poderiam ter se reproduzido e você não estaria aqui.

Agora, andemos ao longo da nossa prateleira de 64 quilômetros pegando algumas fotos e dando uma olhada nelas. Cada foto mostra uma criatura pertencente à mesma espécie que a das duas fotos contíguas. Cada uma se parece exatamente com a foto vizinha, ou pelo menos é tão parecida quanto qualquer homem se parece com seu pai e com seu filho. No entanto, se você for andando sem parar de uma ponta da prateleira à outra, verá um humano em um extremo e um peixe no outro. E uma porção de outros antepassados interessantes pelo caminho, entre os quais, como logo veremos, incluem-se alguns animais que se parecem com grandes símios, outros com macacos, outros com musaranhos etc. Cada um é parecido com o da foto vizinha, e, no entanto, se você pegar duas fotos quaisquer que estejam bem distantes uma da outra, elas serão bem diferentes — e se você retroceder na fila desde os humanos até um ponto bem remoto dará de cara com um peixe. Como pode ser isso?

Na verdade, não é tão difícil de entender. Já estamos acostumados com mudanças graduais que, devagarinho, passo a passo, produzem uma grande mudança. Você já foi um bebê. Não é mais. Quando for bem mais velho, terá uma aparência muito diferente da de hoje. No entanto, a cada dia da sua vida, quando você acorda, é a mesma pessoa que era ao ir para a cama na noite anterior. Um bebê muda, vira uma criancinha que já sabe andar, depois uma criança maior, um adolescente, um jovem adulto, um adulto de meia-idade e por fim um velho. E a mudança acontece tão gradualmente que não existe um dia em que você possa dizer "esta pessoa subitamente deixou de ser um bebê e se tornou uma criança pequena". E nunca existirá um dia em que você poderá dizer "esta pessoa deixou subitamente de ser uma criança e se tornou um adolescente". Nunca haverá um dia em que se possa dizer "ontem este homem era uma pessoa de meia-idade, hoje é um velho".

Isso nos ajuda a compreender o experimento mental,

que nos leva por 185 milhões de gerações de pais, avós, bisavós etc. até estarmos face a face com um peixe. E, avançando no tempo, foi o que aconteceu quando seu ancestral peixe teve um filho peixe, que teve um filho... que 185 milhões de gerações depois (gradualmente menos parecidas com um peixe) gerou você.

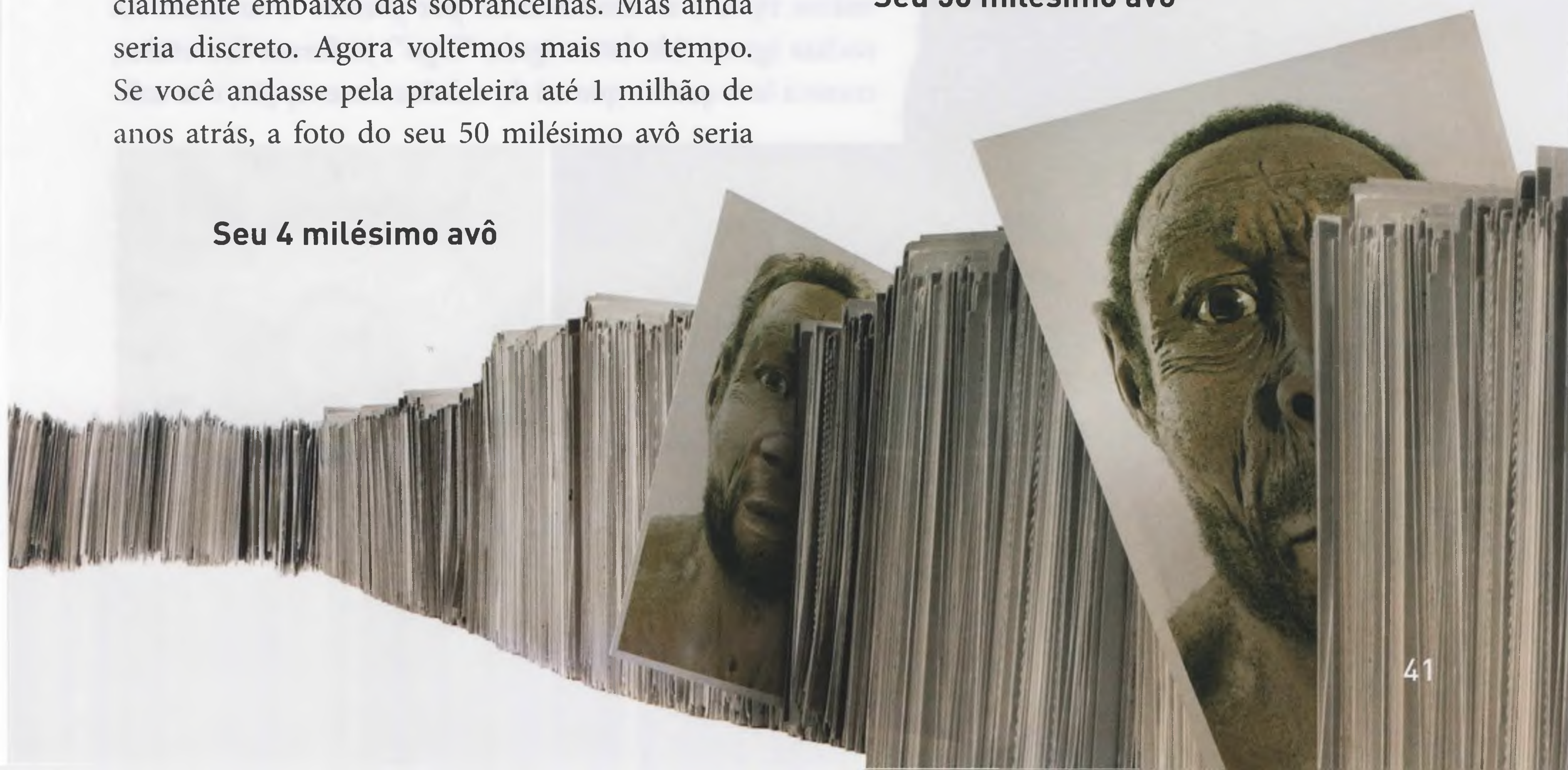
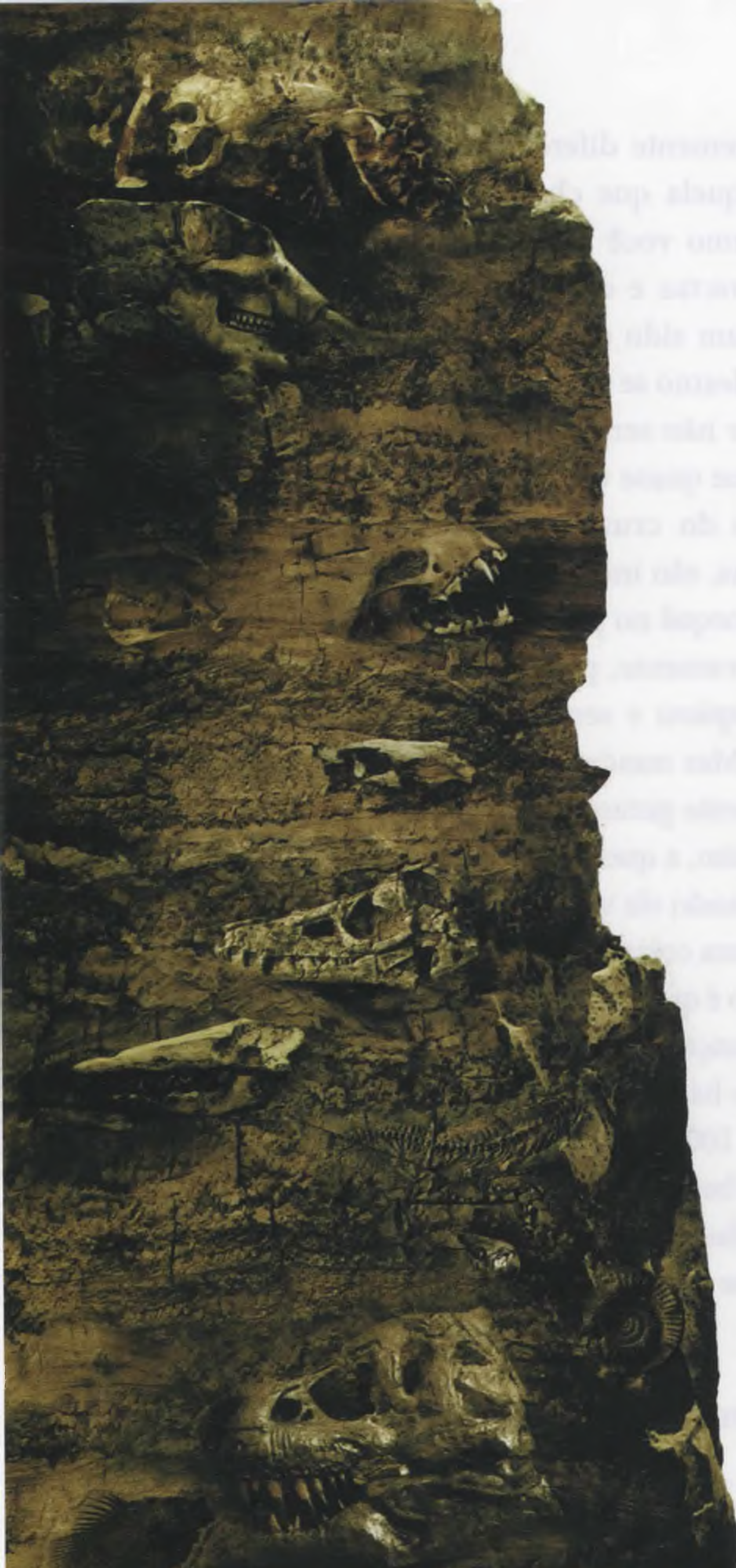
Portanto, tudo foi muito gradual, tão gradual que você não notaria mudança alguma se voltasse mil anos no tempo, ou mesmo 10 mil anos, o que o levaria aproximadamente ao seu 400º bisavô. Ou melhor, você notaria muitas mudanças minúsculas pelo caminho, já que ninguém é igualzinho ao pai. Mas não notaria nenhuma *tendência* geral. Dez mil anos antes dos humanos atuais não é suficientemente distante no tempo para evidenciar uma tendência. O retrato do seu ancestral de 10 mil anos atrás não seria diferente dos retratos de pessoas de hoje, se deixarmos de lado variações superficiais no modo de vestir e nos cabelos e nas costeletas. Não veríamos diferenças maiores do que aquelas que notamos entre um grupo de pessoas do nosso tempo.

E se fossem 100 mil anos, onde poderíamos encontrar nosso 4 milésimo avô? Bem, agora poderíamos encontrar uma mudança observável. Talvez um ligeiro engrossamento do crânio, especialmente embaixo das sobrancelhas. Mas ainda seria discreto. Agora voltemos mais no tempo. Se você andasse pela prateleira até 1 milhão de anos atrás, a foto do seu 50 milésimo avô seria suficientemente diferente para indicar outra espécie, aquela que chamamos de *Homo erectus*. Hoje, como você sabe, somos *Homo sapiens*. O *Homo erectus* e o *Homo sapiens* provavelmente não teriam sido capazes de cruzar entre si e ter filhos. Mesmo se fossem, o bebê resultante provavelmente não seria capaz de procriar, do mesmo modo que quase todas as mulas, que são animais nascidos do cruzamento de um jumento com uma égua, são incapazes de se reproduzir. (Veremos o porquê no próximo capítulo.)

Novamente, porém, tudo é gradual. Você é *Homo sapiens* e seu 50 milésimo avô foi *Homo erectus*. Mas nunca houve uma *Homo erectus* que subitamente gerasse um bebê *Homo sapiens*.

Assim, a questão de quem foi a primeira pessoa e quando ela viveu não tem uma resposta precisa. É uma coisa vaga, como a resposta à pergunta "Quando é que você deixou de ser bebê e se tornou uma criança pequena?". Em algum ponto, provavelmente há menos de 1 milhão de anos porém há mais de 100 mil anos, nossos ancestrais diferiam de nós o bastante para impossibilitar que uma pessoa dos dias de hoje tivesse filhos com eles caso pudessem se encontrar.

Seu 50 milésimo avô

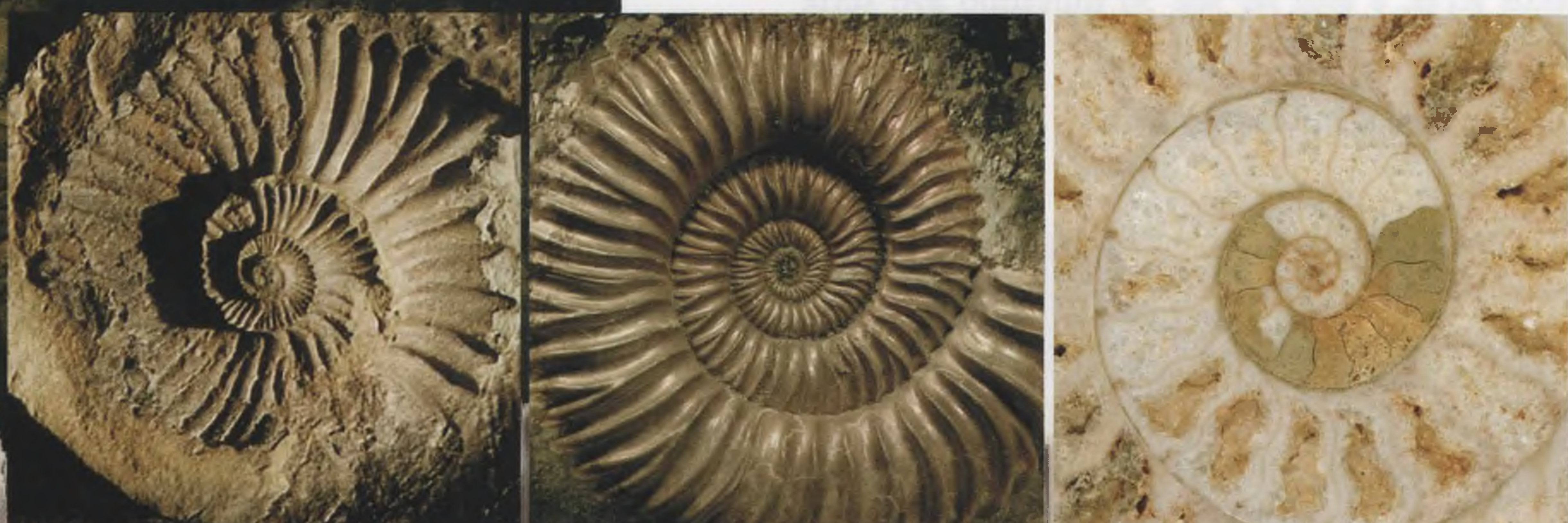
Seu 4 milésimo avô

Se devemos ou não considerar o *Homo erectus* uma pessoa é outra conversa. É uma questão semântica, ou seja, de como escolhemos usar as palavras. Algumas pessoas podem dizer que a zebra é um cavalo listrado, enquanto outras preferem manter a palavra "cavalo" só para a espécie que cavalgamos. É outra questão semântica. Você pode preferir reservar as palavras "pessoa", "homem" e "mulher" para o *Homo sapiens*. É escolha sua. Mas ninguém chamaria de homem seu 185 milésimo avô peixe. Seria bobagem, embora haja uma cadeia contínua que liga vocês, na qual cada elo é membro da mesma espécie que seus vizinhos.

Impresso em pedra

Como sabemos que aparência tiveram nossos ancestrais e quando eles viveram? Graças aos fósseis, principalmente. Todas as ilustrações de ancestrais nossos neste capítulo são reconstituições baseadas em fósseis, coloridas segundo uma comparação com animais modernos.

Fósseis são feitos de pedras que gravaram a forma de animais e plantas mortos. A grande maioria dos animais morre sem esperança de se tornar fóssil. O truque, se você quiser ser um, é ser enterrado no tipo certo de lama ou lodo, aquele que endurecerá formando rocha sedimentar.

O que isso significa? As rochas podem ser de três tipos: ígneas, sedimentares e metamórficas. Deixarei de lado as metamórficas, pois foram originalmente um dos dois outros tipos e se modificaram por pressão e/ou calor. As rochas ígneas (do latim *ignis*, "fogo") já foram derretidas, como a lava quente que sai de vulcões em erupção, e se soli-

dificaram em rocha dura depois de resfriadas. As rochas duras de qualquer tipo se desgastam (são erodidas) pelo vento ou pela água, formando rochas menores, pedregulhos, areia e pó. A areia e o pó ficam em suspensão na água, depois podem se assentar em camadas de sedimentos ou lama no fundo de um mar, rio ou lago. Muito tempo depois, os sedimentos podem endurecer formando camadas (estratos) de rocha sedimentar. Embora todos os estratos sejam inicialmente planos e horizontais, milhões de anos mais tarde, quando os vemos, muitos foram inclinados, revirados ou deformados (veja o capítulo 10 sobre terremotos).

Suponha que um animal morto seja arrastado para a lama, em um estuário, por exemplo. Se essa lama endurecer e se transformar em rocha sedimentar, o corpo do animal, ao se decompor, pode ir deixando sua forma afundada na rocha conforme ela endurece: a forma que um dia finalmente encontramos. Esse é um tipo de fóssil — uma espécie de "negativo" da imagem do animal. A forma que ficou impressa na depressão da rocha pode funcionar como um molde no qual novos sedimentos se depositam e mais tarde endurecem, formando uma réplica "positiva" dos contornos do corpo do animal. Esse é um segundo tipo de fóssil. Existe um terceiro tipo, no qual átomos e moléculas do corpo do animal são substituídos, um por um, por átomos e moléculas de minerais da água, que depois se cristalizam formando rocha. É o melhor tipo de fóssil, porque, com sorte, minúsculos detalhes do interior do corpo do animal são reproduzidos permanentemente, inclusive nas partes centrais do fóssil.

Podemos até determinar a idade dos fósseis medindo os isótopos radioativos nas rochas. (Veremos isótopos e átomos no capítulo 4.) Em poucas palavras, um isótopo radioativo é um tipo de átomo que se desintegra, formando outro tipo de átomo; por exemplo, urânio-238 se transforma em chumbo-206. Como sabemos quanto tempo isso leva para ocorrer, podemos conceber o isótopo como um relógio radioativo. Relógios radioativos são bem parecidos com os relógios de água ou de vela que eram usados antes da invenção dos de pêndulo. Um tanque com um orifício no fundo escoa água a uma taxa mensurável. Se você encher o tanque ao amanhecer, poderá saber quanto do dia já se passou medindo o nível da água. O mesmo se dá com o relógio de vela. A vela queima a uma taxa fixa, por isso podemos dizer quanto tempo se passou medindo quanto resta dela. No caso de um relógio de urânio-238, sabemos que é preciso 4,5 bilhões de anos para que metade do urânio-238 se desintegre e se torne chumbo-206. É a chamada "meia-vida" do urânio-238. Se medirmos quanto chumbo-206 existe em uma rocha e compararmos com a quantidade de urânio-238, podemos calcular quanto tempo passou desde quando não havia chumbo-206; ou seja, há quanto tempo o relógio estava "zerado".

E quando o relógio está zerado? Isso acontece somente com rochas ígneas, no momento em que a rocha derretida se solidifica. Não funciona com rochas sedimentares. Elas não têm esse "momento zero", o que é uma pena, pois os fósseis só são encontrados em rochas sedimentares. Por isso, temos de encontrar rochas ígneas próximas de camadas sedimentares e usá-las como relógio. Por exemplo, se um fóssil se encontra num sedimento que tem acima dele rochas ígneas de 120 milhões de anos e abaixo dele de 130 milhões de anos, sabemos que o fóssil tem entre 120 milhões e 130 milhões de anos.

As datas que menciono neste capítulo foram calculadas assim. Portanto, são apenas aproximações, inexatas.

O urânio-238 não é o único isótopo radioativo que podemos usar como relógio. Existem muitos outros, com uma esplêndida variedade de meias-vidas. Por exemplo, o carbono-14 tem meia-vida de 5730 anos, sendo assim útil para os arqueólogos que investigam a história humana. Muitos relógios radioativos têm escalas de tempo que coincidem parcialmente, por isso podemos confrontar uns com os outros. E eles sempre mostram os mesmos resultados.

O relógio de carbono-14 funciona de modo diferente dos outros. Não depende de rochas ígneas e usa restos de corpos vivos, como madeira antiga. É um dos relógios radioativos mais rápidos de que dispomos, mas ainda assim 5730 anos é muito mais que o tempo que dura uma vida humana. Por isso, você poderia perguntar como sabemos qual é a meia-vida do carbono-14, sem falar na meia-vida do urânio-238, que é de 4,5 bilhões de anos! A resposta é fácil. Não precisamos esperar que metade dos átomos se desintegre. Podemos medir a taxa de desintegração de uma minúscula fração dos átomos e calcular a meia-vida (um quarto de vida, um centésimo de vida etc.) a partir disso.

Uma viagem ao passado

Façamos outro experimento mental. Chame alguns amigos e entrem numa máquina do tempo. Ligue a máquina e viaje 10 mil anos para o

passado. Abra a porta e dê uma olhada nas pessoas que encontrar. Se por acaso você tiver ido parar na região que hoje é o Iraque, elas estarão inventando a agricultura. Mas, na maioria dos outros lugares, os humanos serão caçadores-coletores que não têm morada fixa e levam a vida se deslocando atrás de animais para caçar e de frutas silvestres, nozes e raízes para colher e extrair. Você não conseguirá entender o que os outros humanos dizem, e eles estarão vestidos de um jeito muito diferente (se é que estarão vestidos). Ainda assim, se você der a eles roupas atuais e um corte de cabelo na moda no nosso século, esses humanos serão indistinguíveis dos humanos dos dias de hoje (as diferenças não serão maiores do que as que vemos atualmente entre as pessoas). Eles também serão totalmente capazes de procriar com as pessoas que viajaram com você a bordo da máquina do tempo.

Agora pegue um voluntário entre essas pessoas do passado (talvez seu 400º avô, pois esse é aproximadamente o tempo em que ele deve ter vivido) e prossiga viagem com ele na máquina do tempo, voltando mais 10 mil anos. Você está agora 20 mil anos no passado, onde terá a chance de encontrar seus 800ºˢ avós. Agora os humanos que verá serão todos caçadores-coletores, mas ainda terão o corpo igual ao dos humanos da atualidade e serão capazes de cruzar com pessoas modernas e ter filhos férteis. Ponha uma dessas pessoas na máquina do tempo e avance mais 10 mil anos no passado. Continue a fazer paradas a cada 10 mil anos, pegando um novo passageiro e transportando-o para o passado.

Depois de muitas paradas de 10 mil anos, talvez quando tiver voltado 1 milhão de anos, você notará que os indivíduos que encontra ao sair da máquina do tempo são indiscutivelmente diferentes de nós e não podem produzir filhos com as pessoas que iniciaram a jornada com você, mas podem fazê-lo com aqueles que embarcaram nas últimas paradas, quase tão antigos quanto eles.

Como eu disse, as mudanças graduais são imperceptíveis, tal qual o movimento do ponteiro das horas no relógio. Só que agora recorro a esse outro experimento mental. Vale explicar de dois modos distintos, pois essa questão é muito importante e, no entanto, compreensivelmente, algumas pessoas têm grande dificuldade em entendê-la.

Retomemos nossa viagem ao passado e vejamos algumas das estações no caminho para aquele simpático peixe. Suponha que chegamos, em nossa máquina do tempo, à estação 6 Milhões de Anos Atrás. O que encontraremos lá? Enquanto permanecermos na África, veremos nossos 250 milésimos avós (talvez algumas gerações a mais ou a menos). Eles são grandes primatas, e talvez se pareçam um pouco com chimpanzés. Mas não são chimpanzés. São os ancestrais que temos em comum com os chimpanzés. Serão diferentes demais de nós para se acasalar conosco e procriar, e diferentes demais dos chimpanzés para fazer o mesmo com eles. Mas serão capazes de ter filhos com os passageiros que pegamos na estação 5,99 Milhões de Anos Atrás. E provavelmente também com os da estação 5,9 Milhões de Anos Atrás. Mas provavelmente não com os que subiram a bordo na estação 4 Milhões de Anos Atrás.

Reiniciemos nossas paradas de 10 mil anos, voltando no passado até a estação 25 Milhões de Anos Atrás. Lá encontraremos os seus (e meus) 1,5 milionésimo avós — numa estimativa aproxi-

Seu 250 milésimo avô
(6 milhões de anos atrás)

mada. Eles não serão grandes primatas, pois terão cauda. Poderíamos chamá-los de macacos se os víssemos hoje, embora não sejam parentes mais próximos dos macacos modernos do que de nós. Apesar de muito diferentes de nós e de serem incapazes de gerar filhos conosco ou com macacos da atualidade, eles poderão ter filhos sem problema nenhum com os passageiros quase idênticos que subiram a bordo na estação 24,99 Milhões de Anos Atrás. A mudança é muito, muito gradual por todo o caminho.

E lá vamos nós, voltando, voltando, 10 mil anos por vez, sem encontrar mudanças notáveis a cada escala. Paremos para ver quem vem ao nosso encontro na estação 73 Milhões de Anos Atrás. Aqui podemos apertar a mão (ou pata?) dos nossos 7 milionésimos avós. Eles se parecem com lêmures ou gálagos e são, como seria de esperar, os ancestrais de todos os lêmures e gálagos modernos. Mas também são os ancestrais de todos os macacos e grandes primatas modernos, inclusive o homem.

Seu 1,5 milionésimo avô
(25 milhões de anos atrás)

O grau de parentesco deles com os humanos modernos é o mesmo que têm com os macacos modernos, e não é mais próximo dos lêmures ou gálagos modernos. Eles não seriam capazes de ter filhos com nenhum animal hoje. Mas provavelmente poderiam ter filhos com os passageiros que pegamos na estação 62,99 Milhões de Anos Atrás. Vamos lhes dar as boas-vindas a bordo da máquina do tempo e seguir viagem para o passado.

Seu 7 milionésimo avô
(63 milhões de anos atrás)

Seu 45 milionésimo avô
(105 milhões de anos atrás)

Na estação 105 Milhões de Anos Atrás, encontraremos nosso 45 milionésimo avô. Ele também é o mais antigo ancestral de todos os mamíferos modernos exceto os marsupiais (hoje encontrados principalmente na Austrália e alguns na América) e os monotremados (ornitorrincos e equidnas, vistos hoje apenas na Austrália e na Nova Guiné). A ilustração mostra-o com sua comida favorita na boca, um inseto. Ele tem parentesco no mesmo grau com todos os mamíferos modernos, apesar de ser mais parecido com alguns do que com outros.

A estação 310 Milhões de Anos Atrás nos mostra nosso 170 milionésimo avô. Ele é o mais antigo ancestral de todos os mamíferos modernos, de todos os répteis modernos (cobras, lagartos, tartarugas, crocodilos) e de todos os dinossauros (e das aves, pois as aves evoluíram de dinossauros). Esse nosso ancestral tem o mesmo grau de parentesco com todos os animais atuais, apesar de se parecer mais com o lagarto. O que isso significa é que desde essa época os lagartos mudaram menos do que, digamos, os mamíferos.

Agora que já somos viajantes experientes, não parecerá longe seguir viagem até encontrar aquele peixe que mencionei no início. Vamos fazer só mais uma parada

antes: na estação 340 Milhões de Anos Atrás, onde veremos nosso 175 milionésimo avô. Ele se parece um pouco com uma salamandra, e é o mais antigo ancestral de todos os anfíbios modernos (salamandras e rãs) assim como de todos os demais vertebrados terrestres.

E seguimos então para a estação 417 Milhões de Anos Atrás, encontrando nosso 185 milionésimo avô, o peixe da página 40. Poderíamos continuar retrocedendo no tempo, encontrando ancestrais cada vez mais distantes, entre eles vários peixes com mandíbula, depois peixes sem mandíbula, depois... bem, aí nossos conhecimentos se tornam nebulosos, incertos, pois desses tempos antiquíssimos começam a nos faltar fósseis.

Seu 175 milionésimo avô
(340 milhões de anos atrás)

Seu 170 milionésimo avô
(310 milhões de anos atrás)

DNA mostra: somos todos primos

Apesar de não termos fósseis para nos dizer exatamente como eram nossos ancestrais mais remotos, não temos dúvida de que todos os seres vivos são nossos parentes e parentes uns dos outros. Também sabemos quais animais modernos são parentes próximos uns dos outros (como o homem e o chimpanzé, o rato e o camundongo) e quais são parentes distantes (como o homem e o cuco, o camundongo e o jacaré). E como sabemos isso? Fazendo uma comparação sistemática entre eles. Atualmente, as evidências mais convincentes provêm da comparação do DNA dos animais.

DNA é a informação genética que todos os seres vivos possuem em cada uma de suas células. O DNA é soletrado ao longo de "fitas" de dados densamente espiraladas chamadas "cromossomos". Eles são muito parecidos com aquelas fitas de dados que eram inseridas nos computadores mais antigos, porque a informação que contêm é *digital* e se distribui de forma ordenada ao longo deles. São longas cadeias de "letras" codificadas que podemos contar: cada letra está ou não lá; não há meio-termo. É isso que faz o DNA ser digital, e é por isso que digo que o DNA é "soletrado".

Todos os genes, em cada animal, planta e bactéria que já foi examinado, são mensagens codificadas, escritas em um alfabeto que vale para todos os seres, com instruções sobre como formar essa criatura. Esse alfabeto contém apenas quatro letras (em contraste com as 26 do alfabeto português), e as representamos como A, T, C e G. Os mesmos genes aparecem em muitos seres distintos, com algumas diferenças reveladoras. Por exemplo, existe um gene chamado FoxP2 que aparece em todos os mamíferos e em muitos outros seres. O gene é uma cadeia de mais de 2 mil letras. No pé desta página vemos um breve trecho de 80 letras de uma parte do meio do FoxP2, o trecho que vai da letra 831 à letra 910. O trecho de cima pertence a um humano, o do meio a um chimpanzé e o de baixo a um camundongo. Os números no fim dos dois trechos inferiores mostram quantas letras no gene inteiro diferem das letras em todo o gene FoxP2 dos humanos.

Podemos ver que o FoxP2 é o mesmo gene em todos os mamíferos porque a imensa maioria das letras codificadas coincide, e isso vale para toda a extensão do gene, e não só para esse trecho de 80 letras. Nem todas as letras do chimpanzé são as mesmas que as nossas, e com os camundongos temos ainda menos letras em comum. As diferenças estão destacadas em vermelho. Do total de 2076 letras no FoxP2, o chimpanzé possui nove diferentes das nossas, enquanto o camundongo tem 139. E esse padrão vale também para outros genes. Isso explica por que os

Homem	CTCCAACACTTCCAAAGCATCACCACCAATAA
Chimpanzé	CTCCACCACTTCCAAAGCGTCACCACCAATAA
Camundongo	CTCCACCACGTCCAAAGCATCACCACCCATCA

chimpanzés são bem parecidos conosco, e os camundongos, menos.

Os chimpanzés são nossos parentes próximos; os camundongos também são nossos parentes, só que mais distantes. Isso significa que o ancestral mais recente que temos em comum viveu muito tempo atrás. Os macacos são mais próximos de nós que os camundongos, porém mais distantes que os chimpanzés. Os babuínos e os resos são macacos, parentes próximos uns dos outros, com genes FoxP2 quase idênticos. Seu parentesco com os chimpanzés é exatamente do mesmo grau que seu parentesco conosco; e o número de letras do DNA no FoxP2 que separam os babuínos dos chimpanzés é quase o mesmo (24) que o número de letras que separam os babuínos de nós (23). Tudo se encaixa.

As rãs são parentes muito mais distantes dos mamíferos. Todos os mamíferos têm aproximadamente a mesma diferença no número de letras em relação a uma rã, pela simples razão de que o grau de parentesco entre eles é *exatamente* igual: todos os mamíferos têm um ancestral em comum entre si (de aproximadamente 180 milhões de anos atrás) que é mais recente do que o ancestral que têm em comum com as rãs (de aproximadamente 340 milhões de anos atrás).

É claro que os humanos não são todos idênticos, nem os babuínos e os camundongos. Poderíamos comparar os genes do leitor com os meus, letra por letra. O resultado? Teríamos mais letras em comum que qualquer um de nós dois teria com um chimpanzé. Mas ainda assim encontraríamos letras diferentes. Não muitas, e não há razão para destacar o gene FoxP2. Mas, se você contar o número de letras que todos os humanos têm em comum nos nossos genes, seria mais do que qualquer um de nós tem em comum com um chimpanzé. E você tem mais letras em comum com seu primo do que comigo. E ainda mais letras em comum com sua mãe, seu pai, sua irmã ou seu irmão. A propósito, podemos deduzir o grau de parentesco entre duas pessoas contando o número de letras de DNA que elas têm em comum. É interessante fazer essa contagem, e esse provavelmente é um assunto de que ouviremos falar mais no futuro. Por exemplo, a polícia será capaz de identificar uma pessoa com base na "impressão digital" do DNA do irmão dela.

Alguns genes são os mesmos (com diferenças insignificantes) em todos os mamíferos. Contar o número de letras diferentes nesses genes ajuda a determinar o grau de parentesco entre diferentes espécies de mamíferos. Outros são úteis para determinar parentescos mais distantes, como entre vertebrados e vermes. Outros ainda nos ajudam a determinar parentescos dentro de uma mesma espécie — digamos, se você e eu somos parentes muito ou pouco próximos. Se por acaso você for inglês, nosso ancestral comum mais recente provavelmente viveu apenas alguns séculos atrás. Se você for um nativo tasmaniano ou americano, teríamos de voltar algumas dezenas de milhares de anos para encontrar um ancestral em comum. Se você for da tribo !Kung San do deserto do Kalahari, talvez tenhamos de retroceder ainda mais.

TCATCATTCCATAGTGAATGGACAGTCTTCAGTTCTAAGTGCAAGAC

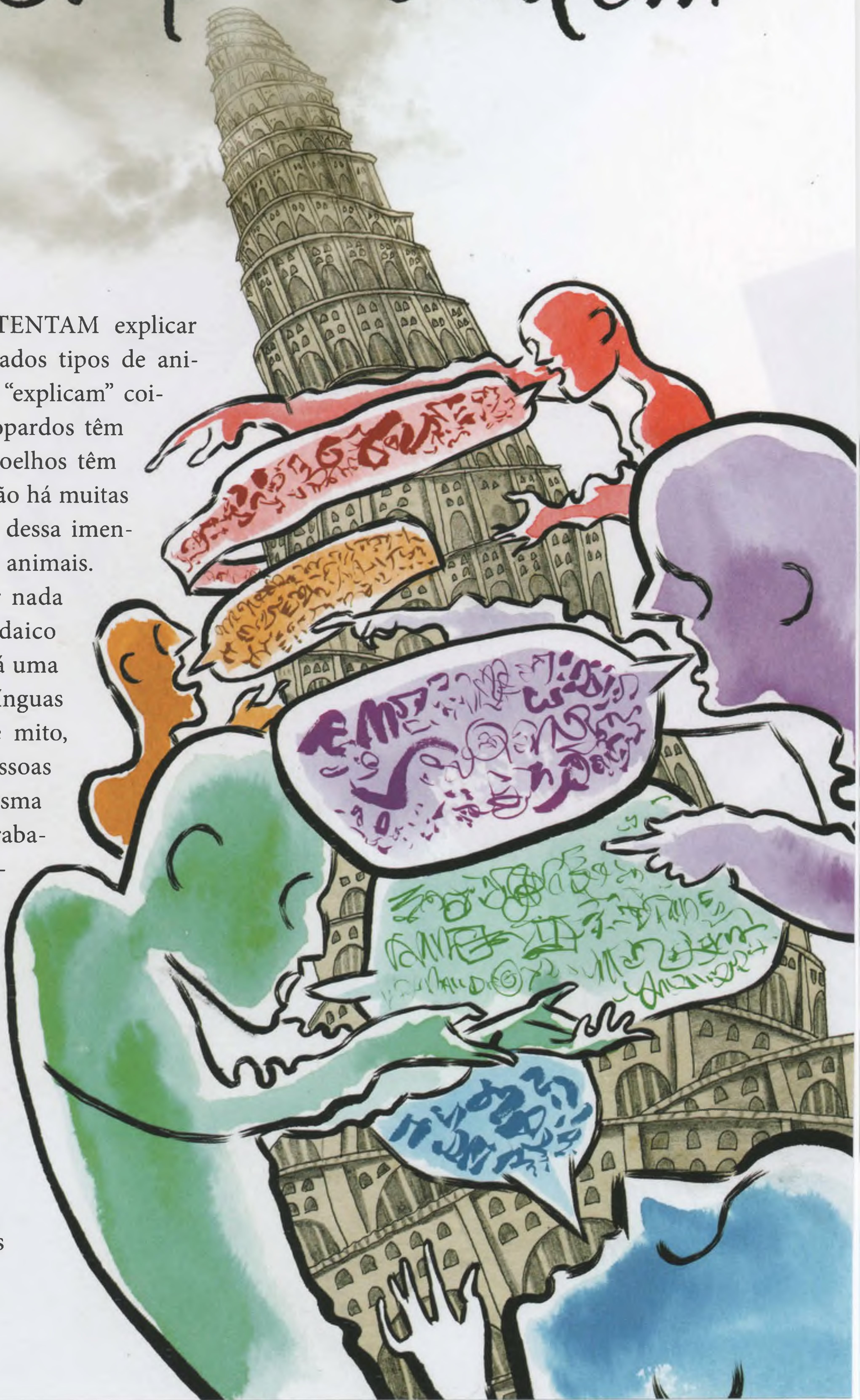
TCATCATTCCATCGTGAATGGACAGTCTTCAGTTCTAAATGCAAGAC 9

ACATCATTCCATAGTGAACGGACAGTCTTCAGTTCTGAATGCAAGGC 139

Um fato que vai além de qualquer dúvida: temos um ancestral em comum com cada uma das espécies de animais e plantas do planeta. Sabemos disso porque alguns genes são reconhecivelmente os mesmos em todos os seres vivos, sejam eles animais, plantas ou bactérias. Acima de tudo, o próprio código genético — o dicionário com base no qual todos os genes são traduzidos — é o mesmo em todos os seres vivos que já examinamos. Somos todos parentes. Nossa árvore filogenética inclui primos óbvios como chimpanzés e macacos, mas também camundongos, búfalos, iguanas, cangurus, lesmas, dentes-de-leão, águias, cogumelos, baleias, vombates e bactérias. Todos são nossos parentes. Sem exceção. Isso não é muito mais incrível que qualquer mito? E o mais incrível de tudo é que temos certeza de que é verdade.

Seu 185 milionésimo avô
(417 milhões de anos atrás)

3 Por que existem

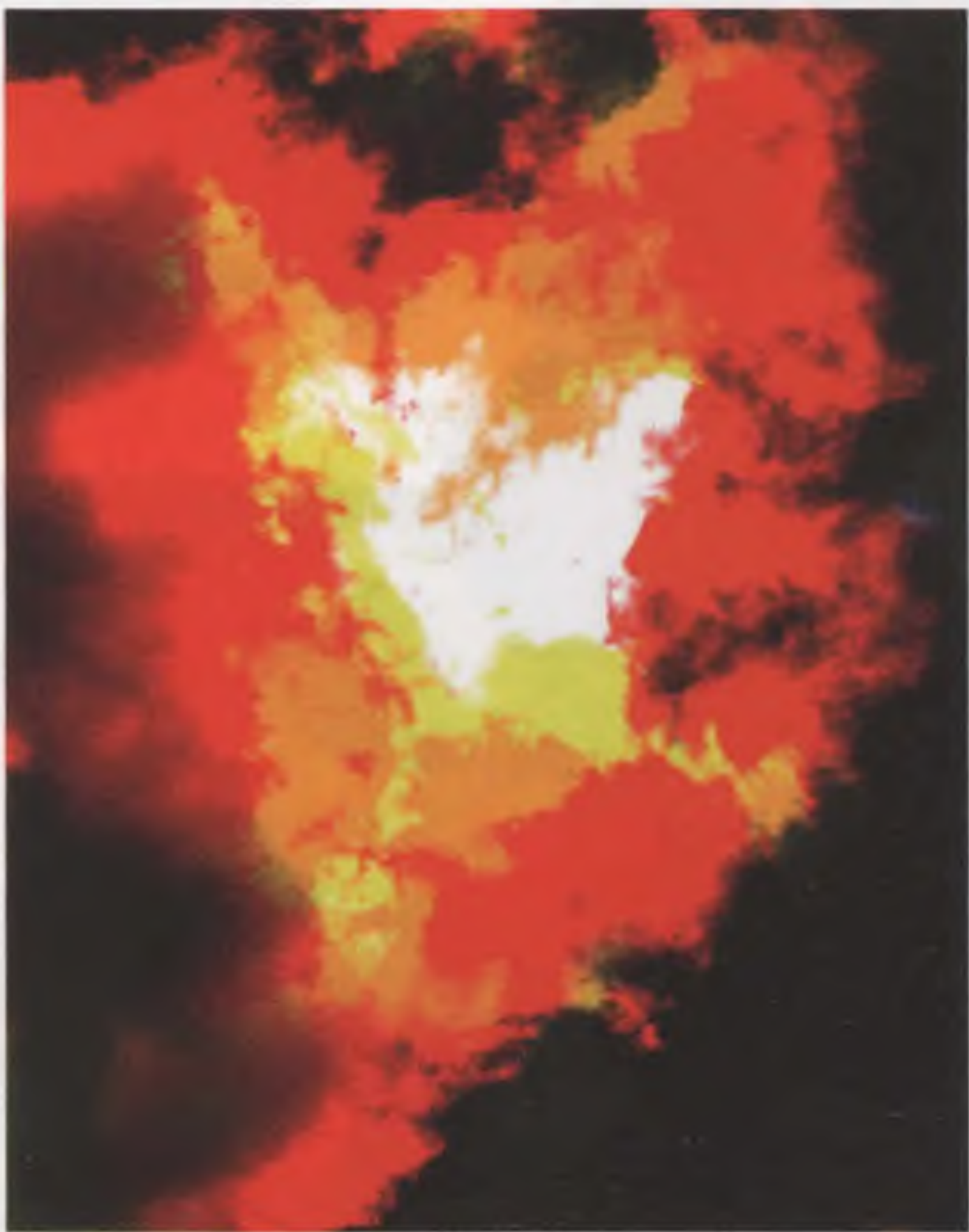
MUITOS MITOS TENTAM explicar por que determinados tipos de animais são como são: eles "explicam" coisas como por que os leopardos têm manchas e por que os coelhos têm cauda. Mas parece que não há muitas histórias sobre a origem dessa imensa variedade de tipos de animais. Não consegui encontrar nada parecido com o mito judaico da Torre de Babel, que dá uma razão para haver tantas línguas diferentes. Segundo esse mito, antigamente todas as pessoas do mundo falavam a mesma língua. Assim, podiam trabalhar juntas harmoniosamente na construção de uma grande torre, pela qual pretendiam subir até o céu. Deus descobriu e não gostou nada dessa história de todo mundo entender todo mundo. O que mais poderiam aprontar, sendo capazes de falar uns com os outros

tantos tipos de animais?

e trabalhar juntos? Por isso, ele decidiu confundir a linguagem deles para que uma pessoa não entendesse a outra. É por essa razão, diz o mito, que existem tantas línguas diferentes e que, quando as pessoas tentam conversar com gente de outra tribo ou outro país, sua fala geralmente soa como um monte de sons sem sentido.

Eu estava torcendo para encontrar algum mito parecido que explicasse a grande diversidade de bichos, pois há uma semelhança entre a evolução da linguagem e a evolução dos animais, como veremos. Mas parece não existir nenhum mito que trate especificamente do imenso número de tipos de animais. Isso é surpreendente, já que há evidências indiretas de que os povos tribais sempre tiveram uma boa noção do fato de que as variedades de animais são muito numerosas. Nos anos 1920, um cientista alemão hoje famoso chamado Ernst Mayr realizou um estudo pioneiro sobre as aves dos planaltos da Nova Guiné. Compilou uma lista de 137 espécies e descobriu, admirado, que os nativos da tribo Papua tinham nomes diferentes para 136 delas.

Voltemos aos mitos. A tribo Hopi, da América do Norte, tinha uma deusa chamada Mulher Aranha.

Ela se aliou ao deus Sol, Tawa, e eles cantaram juntos a Primeira Canção Mágica, que gerou a Terra e a vida. A Mulher Aranha pegou então os fios do pensamento de Tawa e com eles teceu formas sólidas, criando peixes, aves e todos os animais.

Os povos Pueblo e Navajo, também da América do Norte, têm um mito que lembra remotamente a ideia de evolução: a vida surgiu da Terra como uma planta que brotou e foi crescendo em uma sequência de etapas. Os insetos subiram de seu mundo, o Primeiro Mundo ou Mundo Vermelho, e chegaram ao Segundo Mundo, o Mundo Azul, onde viviam as aves. Com isso, o Segundo Mundo ficou populoso demais, e as aves e os insetos voaram para o Terceiro Mundo, ou Mundo Amarelo, onde viviam as pessoas e os demais mamíferos. O Mundo Amarelo então ficou muito populoso e a comida escasseou, por isso todos os seres, insetos, aves e outros animais fugiram para o Quarto Mundo, o Mundo Preto e Branco do dia e da noite. Nele os

deuses haviam criado pessoas melhores, que sabiam cultivar a terra e ensinaram essa prática aos recém-chegados.

O mito judaico da criação faz um pouco mais de justiça à diversidade, mas não procura realmente explicá-la. Na verdade, o livro sagrado do judaísmo contém dois mitos da criação, como vimos no capítulo anterior. No primeiro, o deus judaico criou tudo em seis dias. No quinto dia, criou os peixes, as baleias e todos os seres marinhos, além das aves. No sexto dia, criou o restante dos animais terrestres, inclusive o homem. O mito dá alguma atenção à variedade dos seres vivos. Por exemplo: "Criou, pois, Deus os monstros marinhos, e todos os seres viventes que se arrastavam, os quais as águas produziram abundantemente segundo as suas espécies; e toda ave que voa, segundo a sua espécie" e fez "os animais selvagens segundo suas espécies" e "todo réptil que se arrasta sobre a terra [...] segundo suas espécies". Mas por que tamanha variedade? Isso não é dito.

No segundo mito, vemos uma alusão à possibilidade de o deus ter julgado que seu primeiro homem precisava de companheiros. Adão, o primeiro homem, é criado sozinho e posto num lindo jardim. Mas o deus percebeu que "não é bom que o homem esteja só", assim "da terra formou, pois, o Senhor Deus todos os animais do campo e todas as aves do céu, e os trouxe ao homem, para ver como lhes chamaria".

Por que AFINAL existem tantos tipos de animais?

A TAREFA DE ADÃO, nomear todos os animais, era difícil — mais difícil do que os antigos hebreus imaginavam. As estimativas são de que 2 milhões de espécies animais tenham nome científico, e essa é apenas uma pequena fração do número de espécies que ainda precisam ser nomeadas.

Como é que decidimos se dois animais pertencem à mesma espécie ou não? No caso dos que se reproduzem sexualmente, podemos dar uma definição. Animais pertencem a espécies diferentes quando não podem procriar entre si. Há casos duvidosos, como o dos cavalos e jumentos, que podem cruzar e se reproduzir, mas, quando isso acontece, a cria (que chamamos de mula) é infértil, ou seja, não pode ter filhos. Por isso, colocamos o cavalo e o jumento em espécies diferentes. Já os cavalos e os cães são obviamente de espécies diferentes porque nem sequer tentam cruzar, e mesmo que o fizessem não poderiam gerar filhos, nem mesmo inférteis. Já o cocker spaniel e o poodle pertencem à mesma espécie porque cruzam sem problema algum, e os filhotes que nascem desse cruzamento são férteis.

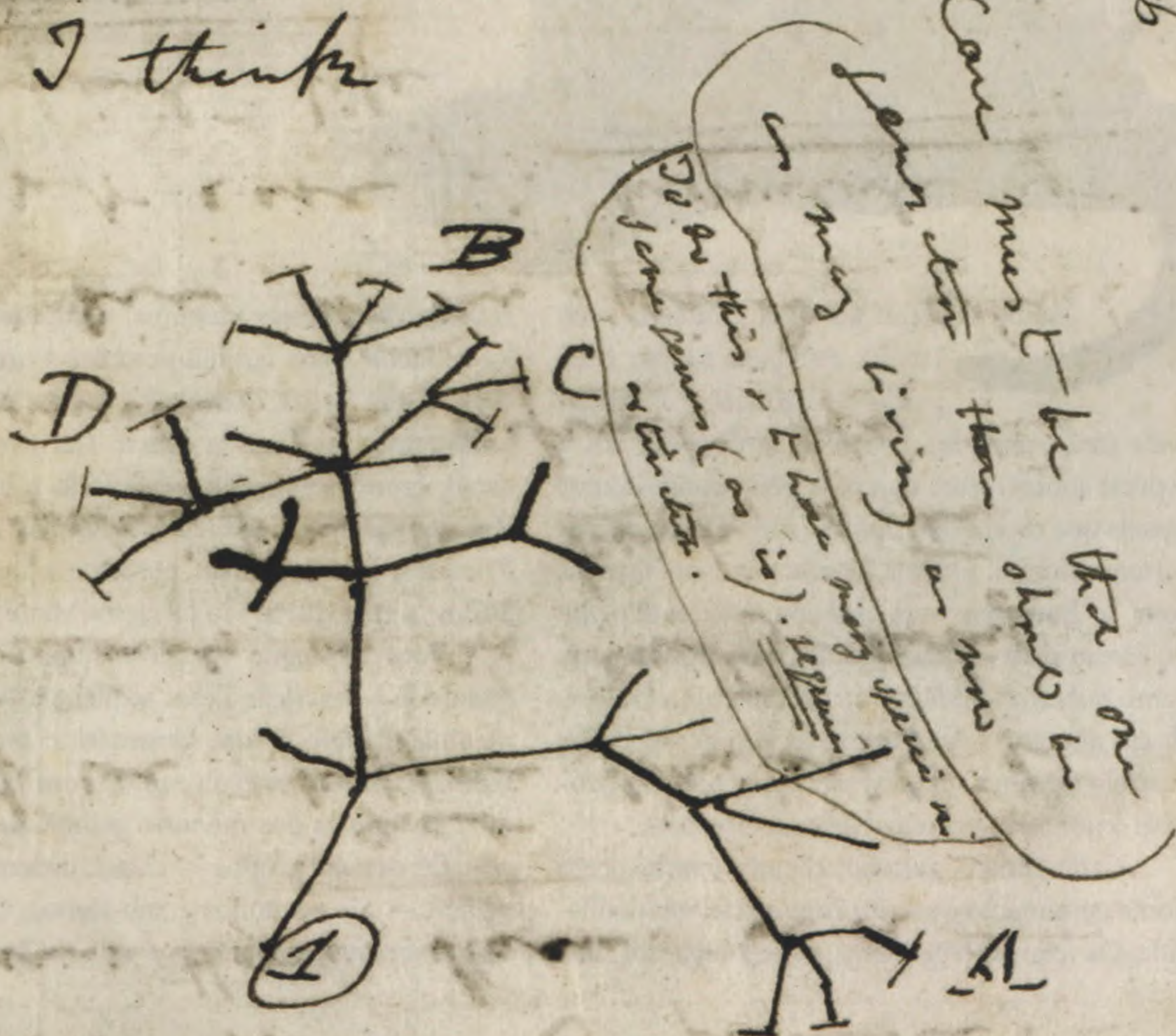
Todo nome científico de animal ou planta consiste em duas palavras em latim, geralmente grafadas em *itálico*. A primeira palavra designa o "gênero" ou grupo de espécies, e a segunda, a espécie individual pertencente a esse gênero. *Homo sapiens* ("homem sábio") e *Elephas maximus* ("elefante muito grande") são exemplos. Cada espécie pertence a um gênero. *Homo* é um gênero. *Elephas*, outro. O leão é *Panthera leo*, e o gênero

Panthera inclui também *Panthera tigris* (tigre), *Panthera pardus* (leopardo ou pantera) e *Panthera onca* (onça-pintada). O *Homo sapiens* é a única espécie sobrevivente do nosso gênero, mas temos fósseis que receberam nomes como *Homo erectus* e *Homo habilis.* Outros fósseis têm semelhanças com os humanos, mas diferem suficientemente do *Homo* para ser classificados em outro gênero, como o *Australopithecus africanus* e o *Australopithecus afarensis* (esse nome não vem de Austrália; australo significa sul, palavra de que provém também o nome do principal país da Oceania).

Cada gênero pertence a uma *família,* cujo nome geralmente é escrito com inicial em maiúscula. Os felinos (leões, leopardos, guepardos, linces e muitos felinos menores) compõem a família Felídeos. Cada família pertence a uma *ordem.* Cães, gatos, ursos, doninhas e hienas pertencem a diferentes famílias da ordem Carnívoros. Macacos, grandes primatas (incluindo o homem) e lêmures pertencem a diferentes famílias da ordem Primatas. E cada ordem pertence a uma classe. Todos os mamíferos são da classe Mamíferos.

Você consegue visualizar uma árvore enquanto lê a descrição dessa sequência de agrupamentos? É uma árvore filogenética: tem muitos ramos, cada um com sub-ramos, com sub-sub-ramos. As pontas dos menores galhos são as espécies. Os demais grupos — classe, ordem, família, gênero — são os ramos e sub-ramos. Completa, essa árvore representa toda a vida na Terra.

Pense por que as árvores têm tantos ramos. Eles se ramificam. Quando temos suficientes ramos de ramos de ramos, o número total pode ser imenso. É isso que acontece na evolução. O próprio Charles Darwin desenhou uma árvore ramificada na única ilustração de seu famoso livro *A origem das espécies.* Abaixo você vê uma versão inicial dessa figura, que Darwin esboçou em um de seus cadernos alguns anos antes. No topo da página ele escreveu uma misteriosa mensagem a si mesmo: "Eu penso". O que você acha que ele quis dizer? Talvez tivesse começado a escrever uma frase quando foi interrompido por um de seus filhos, por isso nunca a concluiu. Talvez achasse mais fácil representar o que estava pensando em seu diagrama que em palavras. Talvez nunca saibamos. Há outras coisas manuscritas na página, mas são difíceis de decifrar. É fascinante ler as anotações de próprio punho de um grande cientista, nunca destinadas à publicação.

O trecho a seguir não explica como a árvore dos animais se ramificou, mas dá uma ideia. Imagine uma espécie ancestral que se divide em duas. Se cada uma dessas duas por sua vez se dividir em duas, teremos quatro. Se cada uma dessas se dividir em duas, teremos oito, e assim por diante: 16, 32, 64, 128, 256, 512… Você pode ver que, se essa duplicação de cada espécie continuar, não demorará para que haja milhões delas. Isso provavelmente faz sentido para você, mas talvez uma pergunta lhe tenha ocorrido: por que uma espécie se dividiria? Bem, mais ou menos pela mesma razão por que as línguas humanas se dividem. Façamos uma pausa para examinar essa ideia.

Desmembramento: como as línguas e as espécies se dividem

Embora a lenda da Torre de Babel não seja verdadeira, ela inspira uma pergunta interessante: por que existem tantas línguas?

Assim como algumas espécies são mais semelhantes do que outras e nós as classificamos na mesma família, também existem famílias de línguas. Espanhol, italiano, português, francês e muitos idiomas e dialetos europeus, como o romanche, o galego, o occitano e o catalão, são razoavelmente semelhantes umas às outras. Juntas, elas são chamadas de línguas latinas. Esse nome provém de sua origem comum no latim, a língua de Roma. Usemos como exemplo uma expressão de amor. Dependendo do país em que você estiver, pode declarar seus sentimentos com uma das seguintes frases: "Ti amo", "Amo-te", "T'aimi" ou "Je t'aime". Em latim, seria "Te amo", exatamente como em espanhol e português modernos.

Para se declarar no Quênia, Tanzânia ou Uganda, você poderia dizer em suaíli "Nakupenda". Um pouco mais para o sul, em Moçambique, na Zâmbia ou no Malauí, onde fui criado, você poderia dizer, na língua chinyanja: "Ndimakukonda". Em outras línguas chamadas bantas, da África meridional, você poderia dizer "Ndinokuda", "Ndiyakuthanda", ou, para um zulu, "Ngiyakuthanda". Essa família das línguas bantas é bem distinta da família das línguas latinas, e ambas diferem muito da família germânica, que inclui o holandês, o alemão e as línguas escandinavas. Veja que usamos a palavra "família" para as línguas, como fazemos para as espécies (a família felina, a família canina) e também, é claro, para nossas famílias (a família Silva, a família Pereira, a família Dawkins).

Não é difícil perceber como as famílias de línguas aparentadas surgiram no decorrer dos séculos. Preste atenção no modo como você e

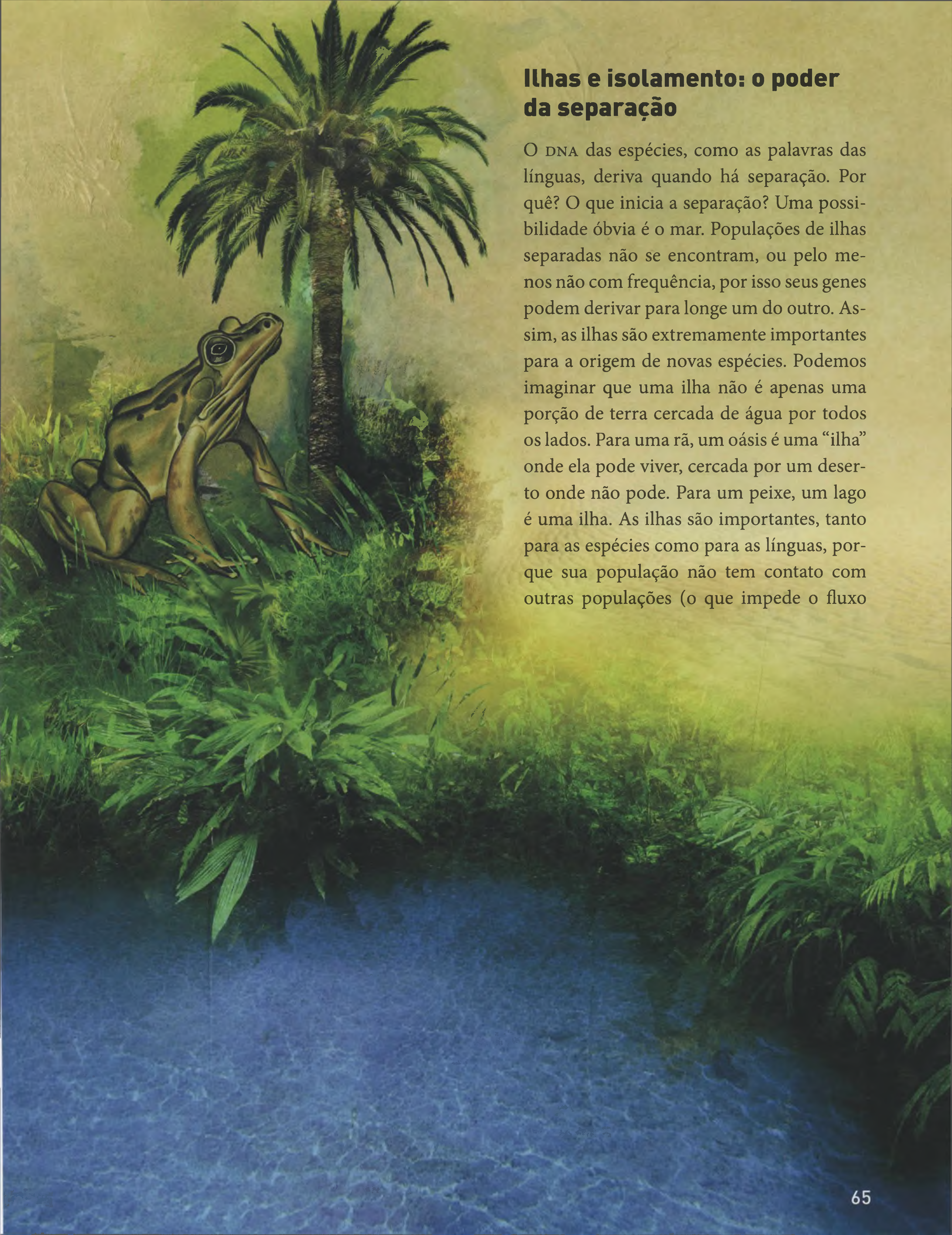
seus amigos conversam entre si e compare com o modo como seus avós falam. O modo de falar deles é só um pouco diferente, e você pode entendê-los facilmente. É que eles são de apenas duas gerações antes da sua. Agora imagine como seria conversar com o seu 25º avô. Isso poderia levá-lo mais ou menos ao tempo do Descobrimento do Brasil, quando Pero Vaz de Caminha escreveu sua famosa carta ao rei d. Manuel, que incluía o seguinte trecho:

A feiçam deles he seerem pardos maneira de vermelhados, de boos rostros e boos narizes bem feitos. Amdam nuus sem nenhuua cubertura nem estimam nenhuua coussa cobrir nem mostrar suas vergonhas, e estam açerqua disso com tamta jnocemçia como teem em mostrar o Rostro.

Podemos reconhecer a língua como português, mas aposto que todos nós teríamos dificuldade de entender as palavras se fossem faladas por alguém daquela época. Se houvesse uma diferença muito maior do português que usamos atualmente, poderíamos chegar ao ponto de considerar esta uma língua distinta, tão diferente quanto o espanhol do italiano.

Portanto, a língua, em qualquer lugar, muda no decorrer dos séculos. Poderíamos dizer que "deriva" para algo diferente. Além disso, as pessoas que falam a mesma língua e moram em lugares diferentes não têm muitas oportunidades de ouvir umas às outras (ou pelo menos não tinham antes da invenção do telefone e do rádio), e elas derivam em diferentes direções nos diversos lugares. Isso se aplica ao modo como a língua é falada e também às próprias palavras: repare como soam diferentes as palavras ditas, por exemplo, nos sotaques carioca, gaúcho e nordestino. Um escocês distingue facilmente o sotaque de Edimburgo do sotaque de Glasgow ou das ilhas Hébridas, três localidades do país. Com o passar do tempo, tanto o modo como a língua é falada como as palavras usadas tornam-se característicos de uma região; quando dois modos de falar derivaram e se distanciaram muito, dizemos que são diferentes "dialetos".

Após séculos, os diferentes dialetos regionais por fim se tornam tão díspares que as pessoas de uma região não conseguem mais entender as da outra. Nesse ponto, dizemos que falam línguas separadas. Foi o que ocorreu quando o alemão e o holandês derivaram cada qual numa direção a partir de uma língua ancestral hoje extinta. Ou quando o francês, o italiano, o espanhol e o português derivaram independentemente do latim em suas respectivas regiões da Europa.

Podemos desenhar uma árvore das famílias de línguas, com "primas" como o francês, o português e o italiano em ramos vizinhos e ancestrais como o latim mais abaixo na árvore — assim como Darwin fez com as espécies.

Assim como as línguas, as espécies mudam com a distância e o passar do tempo. Antes de entender *por quê*, precisamos saber *como* isso acontece. Nas espécies, o equivalente das palavras é o DNA, a informação genética que todo ser vivo possui em sua estrutura e que determina como ele é feito, conforme explicamos no capítulo 2. Quando indivíduos se reproduzem sexualmente, seu DNA é misturado. Chamamos de "fluxo gênico" a migração de membros de uma população para outra região que encontram uma população diferente e nela introduzem seus genes através de cruzamento.

O equivalente da deriva do italiano e do francês, por exemplo, é a diferenciação do DNA de duas populações separadas de uma mesma espécie com o passar do tempo. O DNA de cada uma dessas populações passa a ser cada vez menos capaz de se misturar ao da outra e produzir filhos. Cavalos e jumentos podem acasalar, mas o DNA do cavalo derivou e se distanciou tanto do DNA do jumento que os dois não conseguem mais se entender. Ou melhor, entendem-se de maneira rudimentar — os dois "dialetos" de DNA conversam apenas o suficiente para produzir outro ser vivo, uma mula, mas não para gerar um que seja capaz de procriar: as mulas, como já vimos, são estéreis.

Uma diferença importante entre as espécies e as línguas é que as línguas podem pegar palavras "emprestadas" umas das outras. O inglês, por exemplo, muito depois de se desenvolver como idioma distinto a partir de suas fontes românicas, germânicas e celtas, adotou as palavras "shampoo" do hindi, "iceberg" do norueguês, "bungalow" do bengali e "anorak" do inuíte. Mas as espécies animais nunca (ou quase nunca) voltam a trocar DNA depois de ter derivado o suficiente e perdido a capacidade de se cruzar. As bactérias são outra história: elas trocam genes entre si, mas não temos espaço suficiente para entrar nesse assunto. No resto do capítulo, falarei sempre de animais.

Ilhas e isolamento: o poder da separação

O DNA das espécies, como as palavras das línguas, deriva quando há separação. Por quê? O que inicia a separação? Uma possibilidade óbvia é o mar. Populações de ilhas separadas não se encontram, ou pelo menos não com frequência, por isso seus genes podem derivar para longe um do outro. Assim, as ilhas são extremamente importantes para a origem de novas espécies. Podemos imaginar que uma ilha não é apenas uma porção de terra cercada de água por todos os lados. Para uma rã, um oásis é uma "ilha" onde ela pode viver, cercada por um deserto onde não pode. Para um peixe, um lago é uma ilha. As ilhas são importantes, tanto para as espécies como para as línguas, porque sua população não tem contato com outras populações (o que impede o fluxo

gênico no caso das espécies e a deriva no caso das línguas). Com isso, as populações das ilhas ficam livres para evoluir numa direção própria.

O segundo aspecto importante é que a população de uma ilha não precisa estar isolada para sempre: às vezes, genes podem transpor a barreira que os cerca, seja ela de água ou de terra inabitável.

Em 4 de outubro de 1995, uma esteira formada por toras e árvores arrancadas foi levada pela água e acabou encalhando numa praia na ilha caribenha de Anguilla. Nessa esteira havia quinze iguanas, vivas depois do que parece ter sido uma perigosa jornada partindo de outra ilha, provavelmente Guadalupe, a 160 km de distância. Dois furacões, chamados Luis e Marilyn, haviam assolado o Caribe no mês anterior, arrancando árvores e jogando-as ao mar. Ao que parece, um desses furacões derrubou as árvores em que as iguanas estavam (esses bichos adoram ficar trepados em árvores, como pude ver no Panamá) e varreu tudo para o mar. Quando chegaram a Aguilla, as iguanas desembarcaram do seu insólito meio de transporte e começaram uma nova vida na praia, alimentando-se, reproduzindo-se e transmitindo seu DNA em uma ilha que antes não tinha iguanas.

Sabemos que isso aconteceu porque pescadores de Anguilla viram as iguanas chegar. Séculos antes, embora não houvesse ninguém para testemunhar o fato, quase certamente algo semelhante levou os ancestrais daquelas iguanas para Guadalupe. E quase sem dúvida um acidente parecido explica a presença desses animais em Galápagos, que é para onde vamos agora na nossa história.

As ilhas Galápagos têm uma importância histórica porque provavelmente inspiraram as primeiras ideias de Charles Darwin sobre a evolução quando ele as visitou em 1835, como membro de uma expedição que viajava no navio *Beagle*. Trata-

-se de um grupo de ilhas vulcânicas no oceano Pacífico próximo ao equador, quase mil quilômetros a oeste da América do Sul. São todas jovens (surgiram há apenas alguns milhões de anos), formadas por vulcões que emergiram do fundo do mar. Isso significa que todas as espécies de animais e plantas dessas ilhas vieram de outro lugar, presumivelmente do continente sul-americano, e recentemente, segundo os padrões evolucionários. Ali chegadas, as espécies podem ter feito travessias mais curtas de ilha para ilha, com frequência suficiente para ocupar todo o arquipélago (talvez uma ou duas vezes a cada século), mas não tão raramente que pudessem evoluir à parte — "derivar", como estamos dizendo neste capítulo — durante os intervalos entre as raras travessias.

Ninguém sabe quando as primeiras iguanas chegaram a Galápagos. Provavelmente vieram em uma jangada de troncos arrancados e impelidos do continente, como os que aportaram em Anguilla em 1995. Hoje em dia, a ilha mais próxima do continente é São Cristóvão (Darwin a conhecia pelo nome inglês Chatham), mas milhões de anos atrás havia também outras ilhas, hoje submersas. As iguanas poderiam ter chegado primeiro a uma das ilhas hoje afundadas, depois feito a travessia até outras ilhas, entre elas as que hoje continuam acima da água.

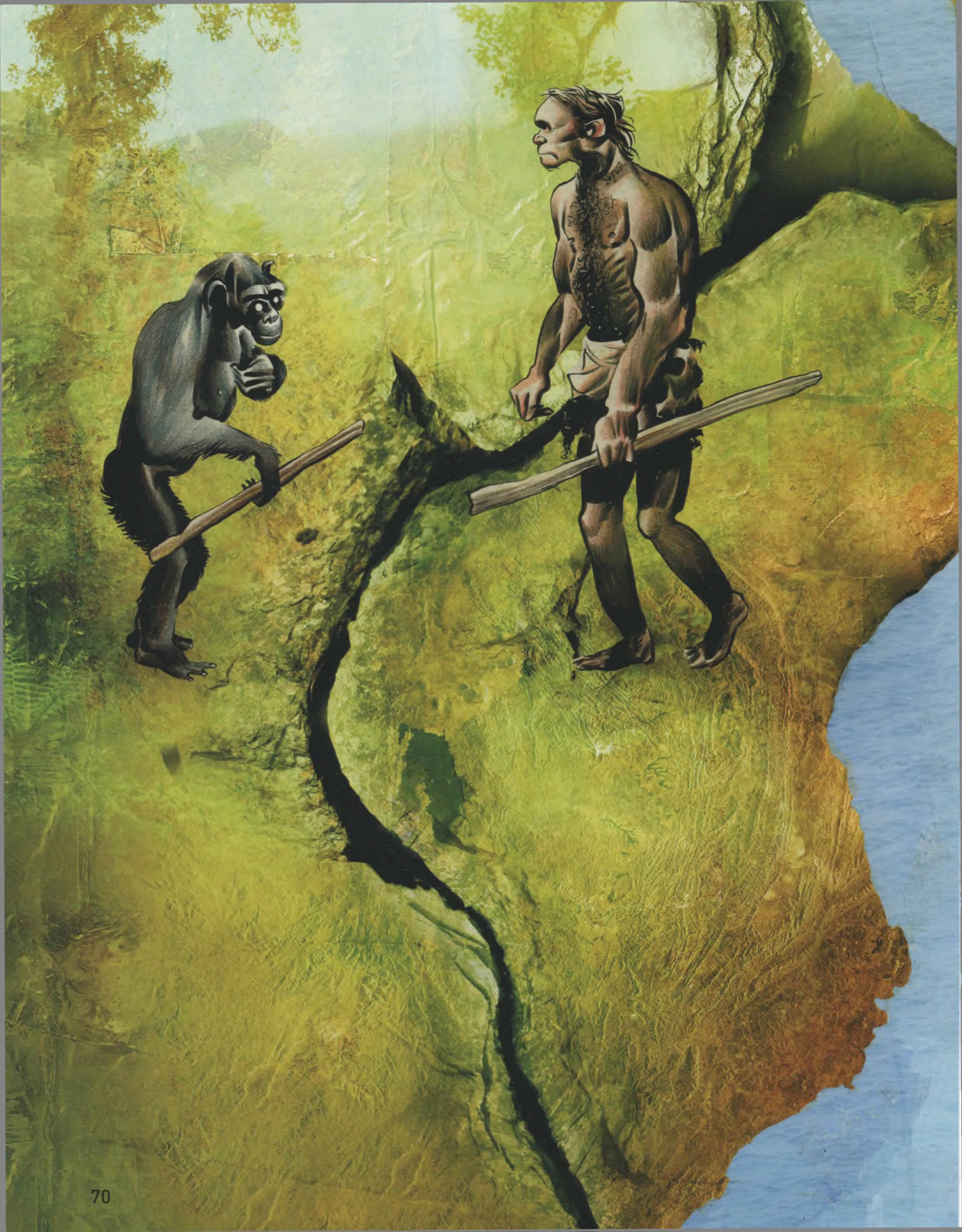
Uma vez ali, tiveram oportunidade de prosperar em um novo lugar, como as iguanas que chegaram a Anguilla em 1995. As primeiras iguanas em Galápagos se diferenciaram de seus primos do continente pela evolução, em parte apenas "derivando" (como as línguas) e em parte porque a seleção natural favoreceu novas habilidades de sobrevivência: uma ilha vulcânica relativamente árida é um lugar muito diferente do continente sul-americano.

As distâncias entre as várias ilhas são bem menores do que a distância de qualquer uma delas até o continente. Assim, a travessia marítima acidental entre ilhas seria relativamente comum: talvez uma por século em vez de uma por milênio. E as iguanas acabariam por chegar à maioria daquelas ilhas. A travessia para uma nova ilha teria sido um evento suficientemente raro para permitir alguma deriva evolucionária nas diversas ilhas nos intervalos entre as "contaminações" dos genes entre uma travessia acidental e outra: raro o bastante para permitir que as iguanas se desenvolvessem tanto que, quando finalmente reencontrassem uma de outra ilha, não pudessem mais cruzar com ela. O resultado é que hoje existem três espécies distintas de iguana terrestre em Galápagos, as quais não são mais capazes de intercruzamento. A *Conolophus pallidus* é encontrada apenas na ilha de Santa Fé. A *Conolophus subcristatus* vive em

várias ilhas, entre elas Fernandina, Isabela e Santa Cruz (a população de cada uma delas pode estar a caminho de se transformar em uma espécie distinta). A *Conolophus marthae* está confinada ao mais setentrional da cadeia de cinco vulcões da grande ilha Isabela.

O que levanta outra questão interessante. Você deve se lembrar de eu ter dito que um lago ou oásis pode ser visto como uma ilha, mesmo não sendo terra cercada de água. Pois bem: o mesmo vale para os cinco vulcões de Isabela. Cada um está cercado por uma zona de vegetação densa (em verde na figura abaixo) que é uma espécie de oásis separado do vulcão vizinho por um deserto. A maioria das ilhas de Galápagos possui apenas um vulcão grande, mas Isabela tem cinco. Se o nível do mar subir (por causa do aquecimento global, por exemplo), Isabela poderá se transformar em cinco ilhas separadas pelo mar. Atualmente, você pode considerar cada vulcão uma espécie de ilha dentro de uma ilha. É assim que pareceria a uma iguana (ou a uma tartaruga gigante) que precisa se alimentar da vegetação encontrada nas encostas ao redor dos vulcões.

Qualquer tipo de isolamento por uma barreira geográfica que possa ser transposto de vez em quando leva à ramificação evolucionária. (Na verdade, não precisa ser uma barreira geográfica. Há outras possibilidades, sobretudo para os insetos, mas para simplificar não as mencionarei aqui.) Uma vez que as populações tenham derivado o suficiente para não serem mais capazes de cruzar, a barreira geográfica deixa de ser necessária. As espécies podem prosseguir seu caminho evolucionário separadas, sem nunca mais contaminar o DNA da outra. Separações desse tipo são a principal fonte das novas espécies que já surgiram no planeta — até, como veremos, da separação original entre os ancestrais das lesmas e os ancestrais de todos os vertebrados, inclusive o homem.

Em algum momento da história das iguanas em Galápagos ocorreu uma ramificação que conduziu a uma nova espécie muito peculiar. Numa dessas ilhas, não sabemos qual, uma população de iguanas mudou totalmente seu modo de vida. Em vez de comer plantas nas encostas dos vulcões, elas desceram para a praia e passaram a comer algas marinhas. A seleção natural foi então favorecendo os indivíduos que nadavam bem, e hoje seus descendentes têm o hábito de mergulhar para se alimentar das algas submersas. São chamados de iguanas marinhas e, diferentemente das iguanas terrestres, não vivem em nenhum lugar fora de Galápagos. Possuem estranhas características que lhes permitem viver no mar, e isso as torna muito diferentes das iguanas terrestres de Galápagos e de todos os outros lugares do mundo. Com certeza evoluíram de iguanas terrestres, mas não são parentes muito próximas das que habitam Galápagos atualmente. É possível que tenham evoluído de um gênero mais antigo, hoje extinto, que chegou do continente e colonizou as ilhas muito antes das *Conolophus* atuais. Em Galápagos existem raças diferentes de iguanas marinhas, mas não espécies diferentes. No futuro, provavelmente essas diferentes raças derivarão o suficiente para serem consideradas espécies distintas do gênero iguana marinha.

A história é semelhante para tartarugas gigantes, lagartos, estranhos biguás que não voam, sabiás, pintassilgos e muitos outros animais e plantas de Galápagos. E o mesmo tipo de coisa ocorre no mundo todo. Galápagos é apenas um exemplo particularmente claro. Ilhas (incluindo lagos, oásis e montanhas) forjam novas espécies. Um rio pode fazer a mesma coisa. Se for difícil para um animal atravessá-lo, os genes nas populações dos dois lados podem derivar, do mesmo modo que uma língua pode derivar formando dois dialetos, que depois podem derivar e se transformar em duas línguas. Cadeias montanhosas também podem desempenhar esse mesmo papel de separadoras. E o mesmo podemos dizer da distância pura e simples. Os camundongos da Espanha podem estar ligados por uma cadeia de camundongos que cruzaram através de todo o continente asiático. Mas demora tanto para um gene viajar de um camundongo para outro por essa imensa distância que eles até poderiam ser considerados habitantes de ilhas separadas. E a evolução dos camundongos na Espanha e na China poderia derivar em direções distintas.

As três espécies de iguana terrestre de Galápagos tiveram apenas alguns milhares de anos de evolução para se distanciar pela deriva. Depois de decorridos centenas de milhões de anos, os descendentes de uma única espécie ancestral podem ser tão diferentes quanto, digamos, uma barata e um crocodilo. De fato, num passado muito, muito remoto existiu um ancestral das baratas (e de muitos outros animais, entre eles lesmas e caranguejos) que também foi o mais antigo ancestral (o "grancestral") dos crocodilos (sem falar de todos os outros vertebrados). Mas teríamos de retroceder muito no tempo, talvez mais de 1 bilhão de anos, antes de encontrar um grancestral tão antigo quanto esse. É uma época tão remota que nem podemos supor qual teria sido a barreira original responsável pela separação dos animais. Seja qual for, deve ter ocorrido no mar, pois naqueles tempos longínquos nenhum animal vivia em terra firme. Talvez a espécie grancestral só pudesse viver em recifes de corais, e duas populações tenham ido parar em recifes separados por águas profundas e inóspitas.

Como vimos no capítulo anterior, seria preciso retroceder 6 milhões de anos para encontrar o mais recente grancestral comum de humanos e chimpanzés. É recente o bastante para que possamos especular que barreira geográfica poderia ter ocasionado a divisão original. Já foi sugerido que essa barreira foi o vale do Grande Rift, na África, e que os humanos evoluíram do lado leste e os chimpanzés do lado oeste. Mais tarde, a linhagem ancestral dos chimpanzés dividiu-se em chimpanzés comuns e pigmeus, ou bonobos. Neste segundo caso, a hipótese é de que a barreira foi o rio Congo. Como vimos no capítulo anterior, o grancestral comum de todos os mamíferos sobreviventes viveu há cerca de 185 milhões de anos. Desde então, seus descendentes ramificaram-se muitas vezes, produzindo as milhares de espécies de mamíferos que vemos hoje, incluindo 231 espécies de carnívoros (cães, gatos, doninhas, ursos etc.), 2 mil de roedores, 88 de baleias e golfinhos, 196 de animais de casco fendido (vacas, antílopes, porcos, veados, ovelhas), 16 de cavalos (cavalos, zebras, antas e rinocerontes), 87 de coelhos e lebres, 977 de morcegos, 68 de cangurus, 18 de grandes primatas (incluindo os humanos) e muitas que se extinguiram pelo caminho (incluindo um bocado de espécies humanas, conhecidas apenas graças a fósseis).

Revolver, selecionar, sobreviver

Quero finalizar este capítulo recontando a história numa linguagem um pouco diferente. Mencionei brevemente o *fluxo gênico*; os cientistas também falam em *reservatório gênico,* e agora vou explicar melhor o que isso significa. É claro que não pode existir literalmente um reservatório de genes. A palavra "reservatório" sugere um líquido no qual os genes poderiam ser revolvidos. Mas os genes só são encontrados nas células de corpos vivos. Então por que falar em reservatório gênico?

A cada geração, a reprodução sexual causa uma mistura de genes. Você nasceu com os genes de seu pai e sua mãe misturados, o que significa que os genes dos seus quatro avós também entraram na mistura. O mesmo se aplica a todos os indivíduos da população no decurso do longuíssimo tempo evolucionário: milhares, dezenas de milhares, centenas de milhares de anos. Durante esse tempo, o processo de mistura sexual assegura que os genes da população inteira sejam tão misturados, tão revolvidos, que faz sentido falar em um imenso e revolto reservatório de genes: o "reservatório gênico" ou *gene pool,* em inglês.

Você se lembra da nossa definição de espécie como um grupo de animais ou plantas capazes de cruzar entre si e procriar? Agora já pode ver por que essa definição é importante. Se dois animais são membros da mesma espécie na mesma população, isso significa que seus genes estão misturados no mesmo reservatório gênico. Se dois animais pertencem a espécies distintas, não podem ser membros do mesmo reservatório gênico, pois seu DNA não se mistura pela reprodução sexuada, ainda que vivam na mesma área e se encontrem com frequência. Quando populações da mesma espécie são geograficamente separadas, seus reservatórios gênicos podem se diferenciar pela deriva genética — a tal ponto que se por acaso tornarem a se encontrar podem não ser mais ca-

pazes de se cruzar e procriar. Agora que seus reservatórios gênicos não se misturam mais, esses grupos são espécies diferentes e podem continuar a se diferenciar por milhões de anos até um dia diferirem tanto quanto um homem e uma barata, por exemplo.

Evolução significa mudança em um reservatório gênico, o que quer dizer que alguns genes se tornam mais numerosos e outros, menos. Genes que antes eram comuns tornam-se raros ou desaparecem por completo. Os que eram raros tornam-se comuns. E o resultado é que a forma, o tamanho, a cor ou o comportamento de membros típicos da espécie mudam. A espécie evolui pelas mudanças nos números de genes no reservatório gênico. É isso que significa evolução.

Mas por que os números dos diversos genes mudam com as gerações? Ora, podemos dizer que o surpreendente seria se não mudassem, pois estamos falando em períodos de tempo imensos. Pense no modo como uma língua muda com o passar dos séculos. Palavras como "vosmecê", "sinhá", "cáspite" e interjeições como "macacos me mordam!"

foram praticamente aposentadas. Por sua vez, expressões como "tipo assim", que seriam incompreensíveis duas décadas atrás, hoje são comuns. Assim como "tá" querendo dizer "sim".

Até agora não precisei avançar muito além da ideia de que os reservatórios gênicos de populações separadas podem derivar e se tornar muito diferentes, como ocorre com as línguas. Mas, na verdade, no caso das espécies ocorre muito mais do que uma simples deriva. Esse "muito mais" é a seleção natural, o processo de suprema importância que foi a grande descoberta de Charles Darwin. Mesmo sem ela, seria de prever que, quando se separassem, os reservatórios gênicos acabassem por se diferenciar pela derivação. Só que derivariam a esmo. A seleção natural direciona a evolução, direciona para a sobrevivência. Os genes que sobrevivem em um reservatório gênico são aqueles que têm aptidão para isso. E o que é um gene com aptidão para sobreviver? É aquele que ajuda outros genes a construir corpos aptos para sobreviver e se reproduzir: corpos que sobrevivem por tempo suficiente para transmitir os genes que os ajudaram a sobreviver.

Como eles fazem isso varia de acordo com a espécie. No corpo de aves e morcegos, os genes sobrevivem ajudando a construir asas. No corpo das toupeiras, os genes sobrevivem ajudando a construir patas dianteiras fortes e parecidas com pás. No corpo dos leões, os genes sobrevivem ajudando a construir pernas velozes, garras e dentes afiados. No corpo dos antílopes, os genes sobrevivem ajudando a construir pernas velozes, audição e visão aguçadas. No corpo do bicho-pau, os genes sobrevivem fazendo esse inseto ser quase indistinguível de um graveto. Sejam quais forem as diferenças, para todas as espécies a chave é a sobrevivência do gene no reservatório gênico. Da próxima vez que você encontrar um animal — qualquer um — ou uma planta, diga a si mesmo: isso que estou vendo é uma refinada máquina para transmitir os genes que a construíram.

Da próxima vez que se olhar no espelho, pense: eu também.

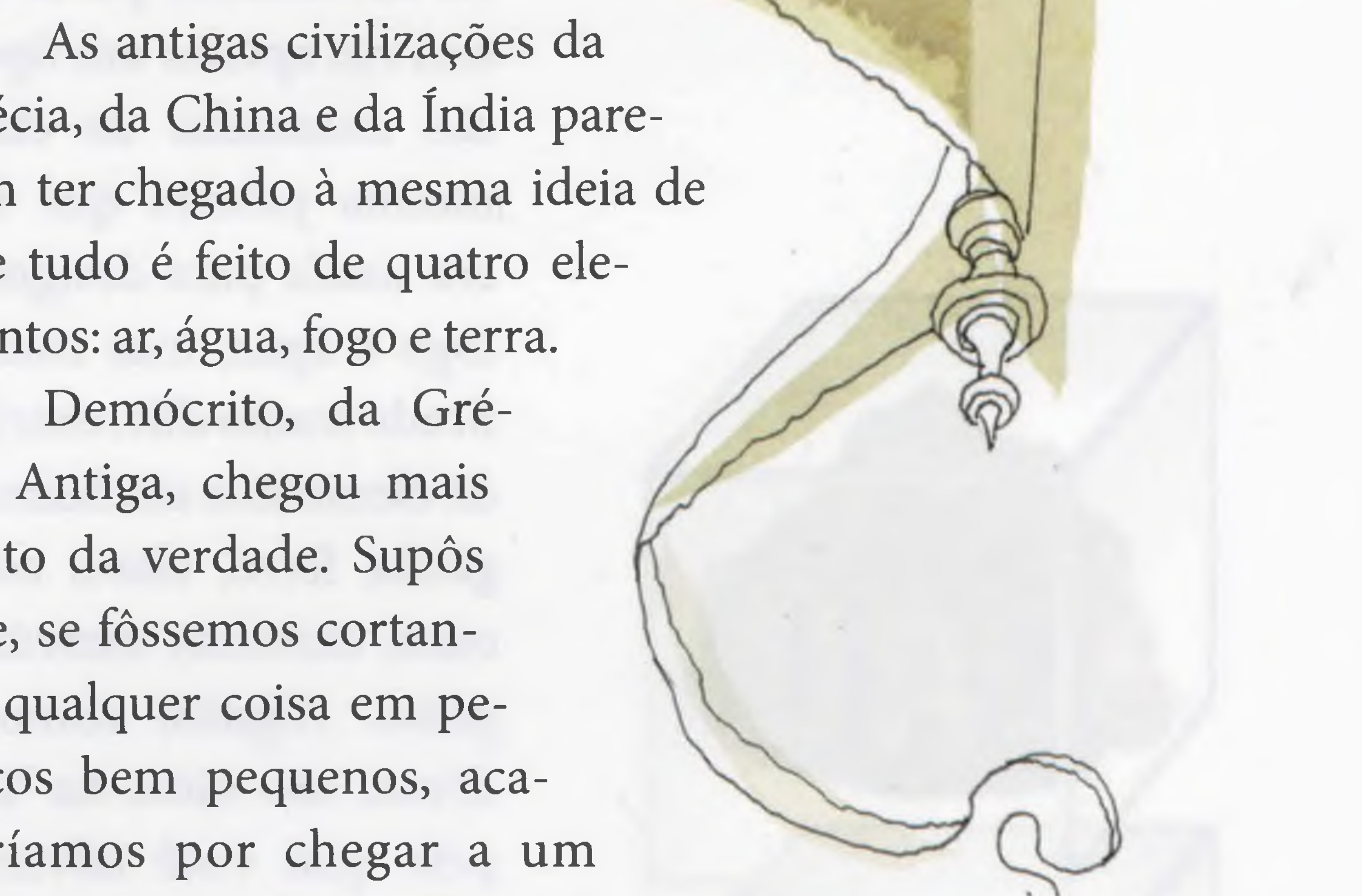
4 Do que são feitas as coisas

Imagine que você pega um pedaço de qualquer coisa e corta pela metade, usando uma lâmina de barbear fina e afiada.

Depois corta cada pedaço pela metade, e cada metade na metade, e assim por diante.

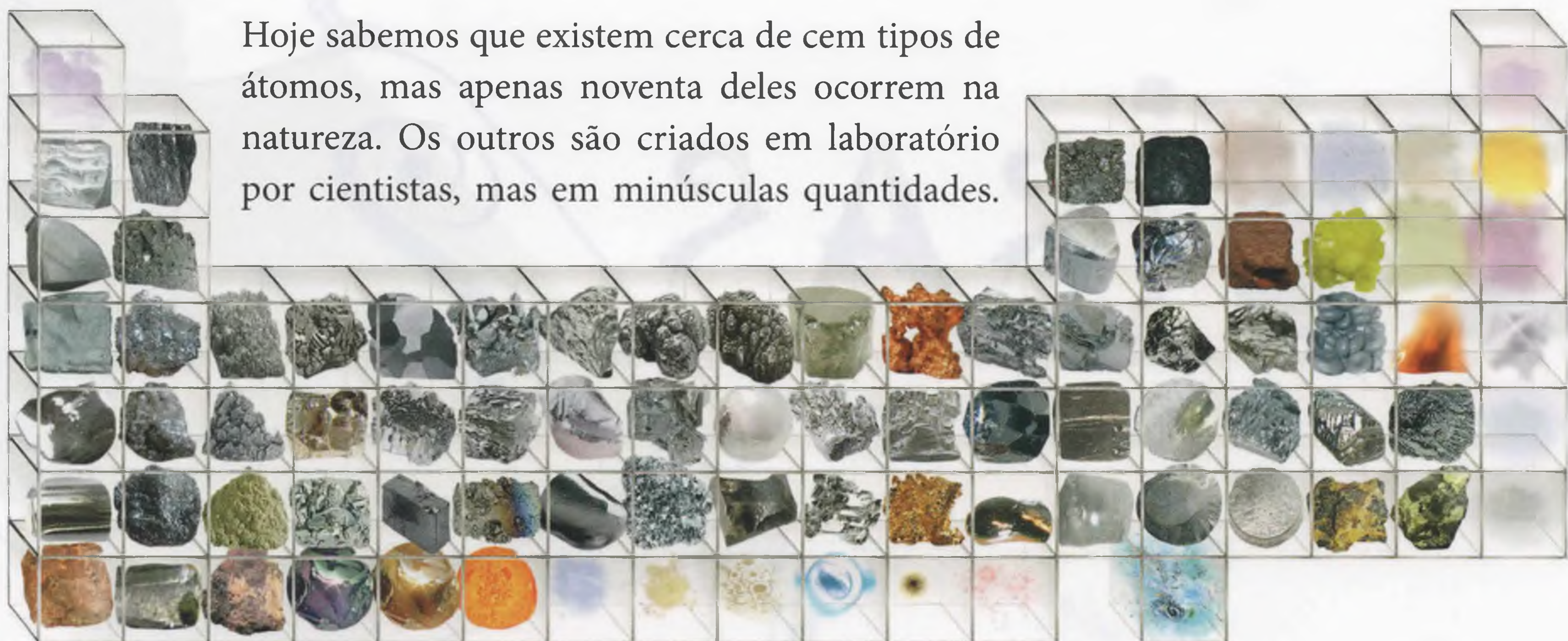
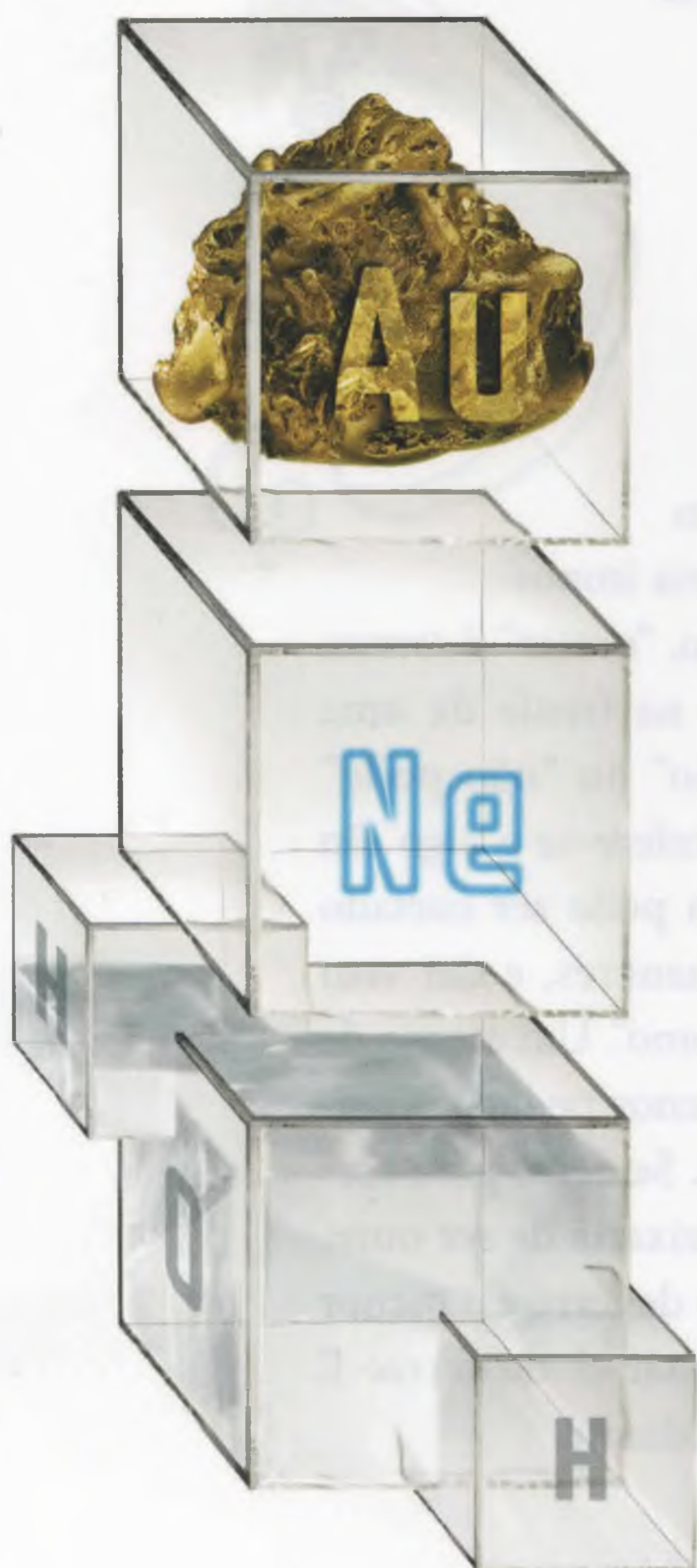
Os pedaços ficam tão pequenos que não podem ficar menores? Qual é a finura de uma lâmina de barbear? Quão pequena é a ponta de uma agulha?

Quais são os menores pedaços de que as coisas são feitas?

UM LIVRO MUITO POPULAR entre as crianças inglesas da era vitoriana, quase dois séculos atrás, era o *Book of nonsense*, de Edward Lear. Eu adorava os poemas dele, como "A coruja e o gato" (que ainda hoje é famoso), e as receitas que vinham no final do livro. As indicações de como fazer "costeletas migalhóficas" começa assim:

> *Pegue alguns bifes e corte nas menores fatias possíveis, depois vá cortando em pedaços menores ainda, oito ou nove vezes.*

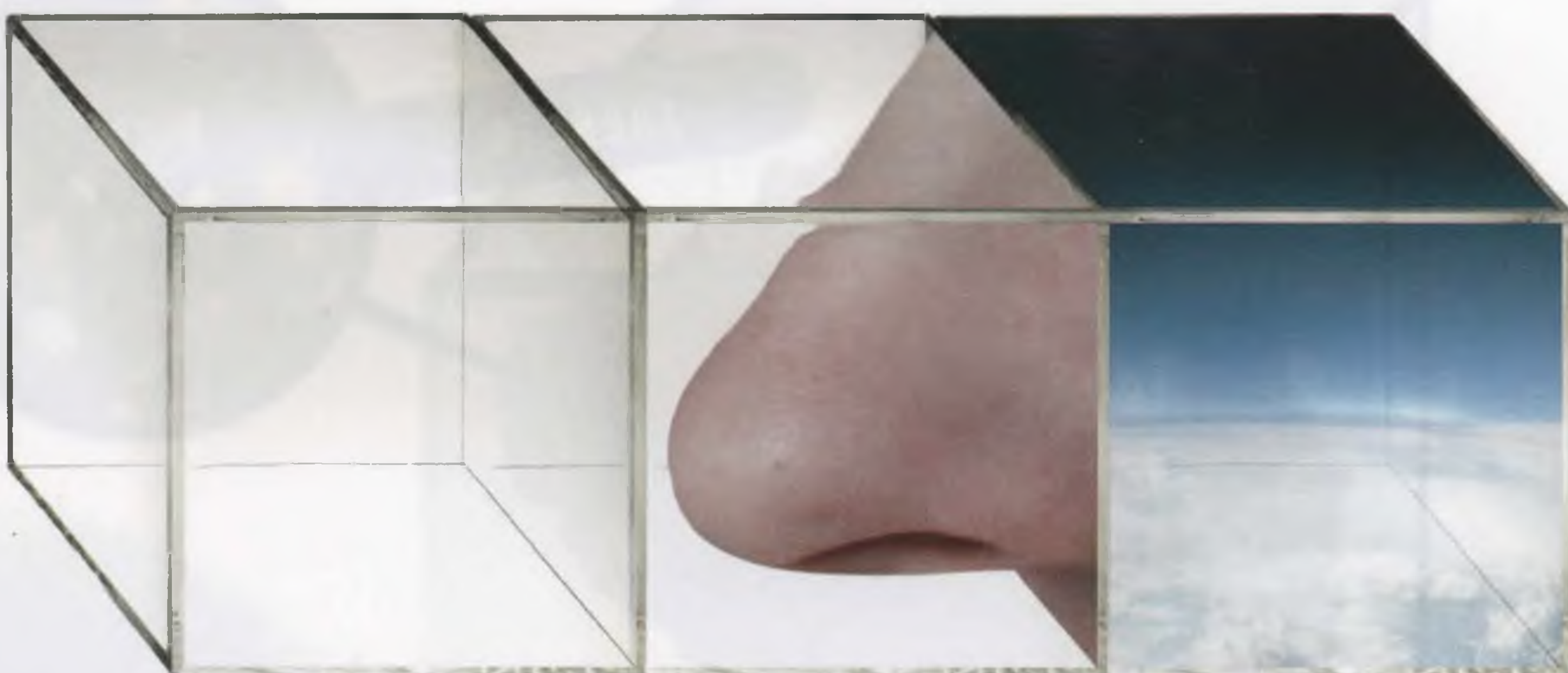
O que teremos se continuarmos cortando uma coisa em pedaços cada vez menores?

As antigas civilizações da Grécia, da China e da Índia parecem ter chegado à mesma ideia de que tudo é feito de quatro elementos: ar, água, fogo e terra.

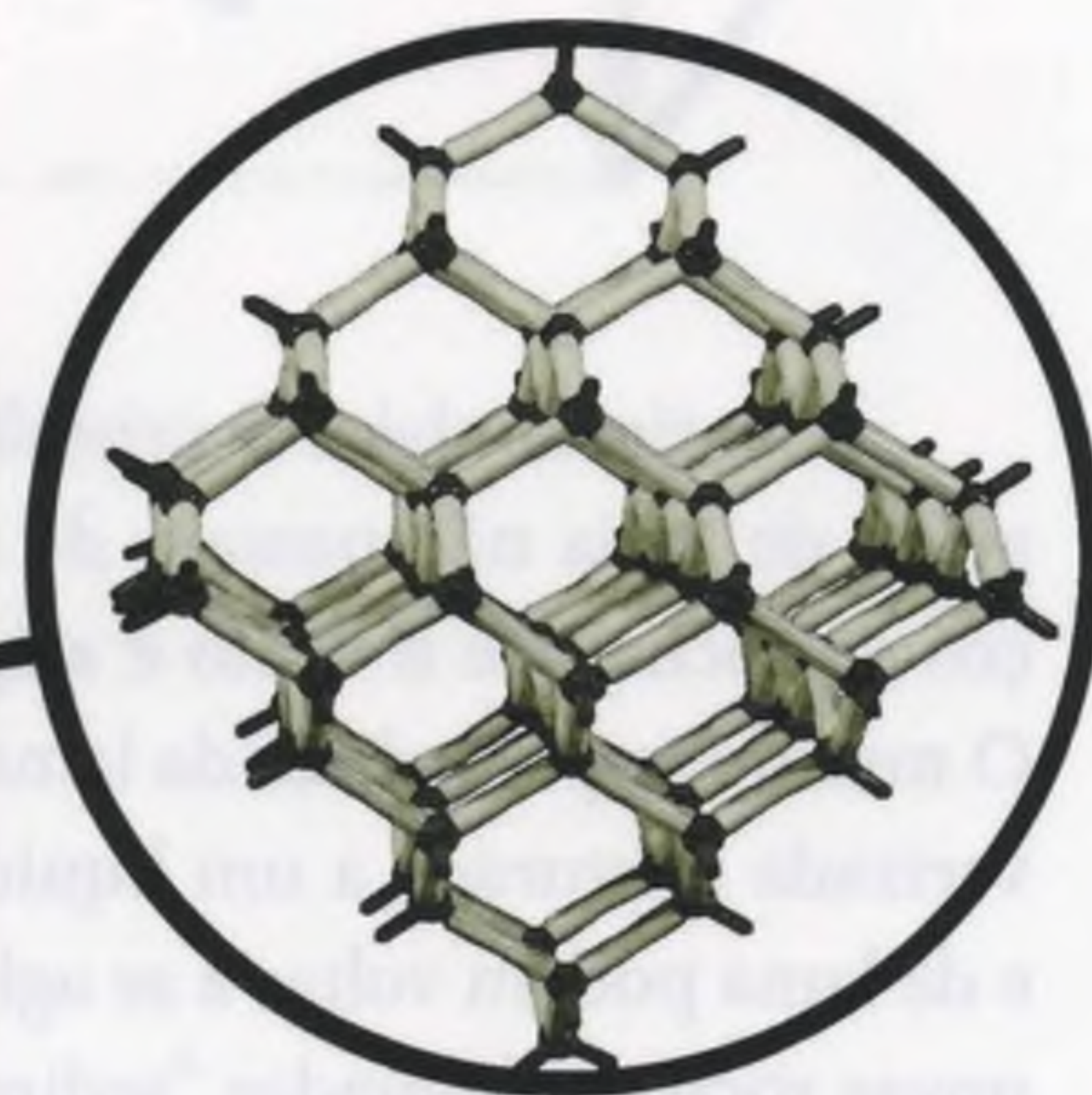
Demócrito, da Grécia Antiga, chegou mais perto da verdade. Supôs que, se fôssemos cortando qualquer coisa em pedaços bem pequenos, acabaríamos por chegar a um pedaço tão diminuto que seria impossível cortá-lo mais. Em grego, "cortar" é *tomos,* e um "a" acrescentado na frente de uma palavra significa "não" ou "não pode". Assim, "a-tômico" refere-se a algo tão pequeno que não pode ser cortado em pedaços menores, e daí vem a palavra "átomo". Um átomo de ouro é o menor pedaço possível de ouro. Se desse para cortar mais, deixaria de ser ouro. Um átomo de ferro é o menor pedaço possível de ferro. E assim por diante.

Hoje sabemos que existem cerca de cem tipos de átomos, mas apenas noventa deles ocorrem na natureza. Os outros são criados em laboratório por cientistas, mas em minúsculas quantidades.

As substâncias puras que consistem em apenas um tipo de átomo são chamadas de elementos (a mesma palavra que no passado era usada para designar terra, ar, fogo e água, mas com um significado muito diferente). Exemplos de elementos são hidrogênio, oxigênio, ferro, cloro, cobre, sódio, ouro, carbono, mercúrio e nitrogênio. Alguns, como o molibdênio, são raros na Terra (razão pela qual você talvez nunca tenha ouvido falar nele), porém são mais comuns em outras partes do universo (contarei como sabemos disso no capítulo 8).

Metais como ferro, chumbo, cobre, zinco, estanho e mercúrio são elementos, além de gases como oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e neônio. Mas a maioria das substâncias que vemos à nossa volta não são elementos: são compostos. Um composto é formado quando diferentes átomos se juntam de um modo específico. Você provavelmente já ouviu alguém se referir à água como H_2O. Essa é sua fórmula química, e significa que é um composto de um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio. Um grupo de átomos que formam um composto é chamado de molécula. Algumas delas são muito simples: uma molécula de água, por exemplo, tem apenas aqueles três átomos. Outras, especialmente as de seres vivos, possuem centenas de átomos, unidos de um modo muito específico. Aliás, é o modo como eles se unem, tanto quanto o tipo e o número de átomos, que faz dada molécula ser um composto e não outro.

Podemos também usar a palavra “molécula” para descrever o que se forma quando dois ou mais átomos do mesmo tipo se unem. Uma molécula de oxigênio, gás que procuramos na respiração, consiste em dois átomos de oxigênio unidos. Às vezes três átomos de oxigênio formam um tipo diferente de molécula, o ozônio. O número de átomos em uma molécula faz muita diferença, mesmo se forem todos do mesmo tipo.

Faz mal para nós respirar ozônio, mas a camada de ozônio que existe na parte superior da atmosfera da Terra nos protege dos efeitos mais danosos dos raios solares. Uma das razões por que os australianos precisam ter mais cuidado ao tomar sol é que existe um "buraco" na camada de ozônio no extremo sul do planeta.

Cristais — um desfile de átomos

Um cristal de diamante é uma molécula enorme, sem tamanho fixo, que consiste em milhões de átomos de carbono unidos, alinhados de um modo muito específico. Eles têm um espaçamento tão regular que poderíamos imaginá-los como soldados em formação num desfile, só que numa formação em três dimensões, como em um cardume. O número de "peixes" nele — o número de átomos de carbono até no menor dos cristais de diamante — é gigantesco, maior que todos os peixes (somados a todas as pessoas) do mundo. E "unidos" é um modo enganoso de descrevê-los se fizer você pensar nos átomos de carbono como pedaços sólidos amontoados, sem espaço entre eles. Na verdade, como veremos, a maior parte dos corpos sólidos consiste em espaço vazio. Isso requer uma boa explicação! Voltarei ao assunto.

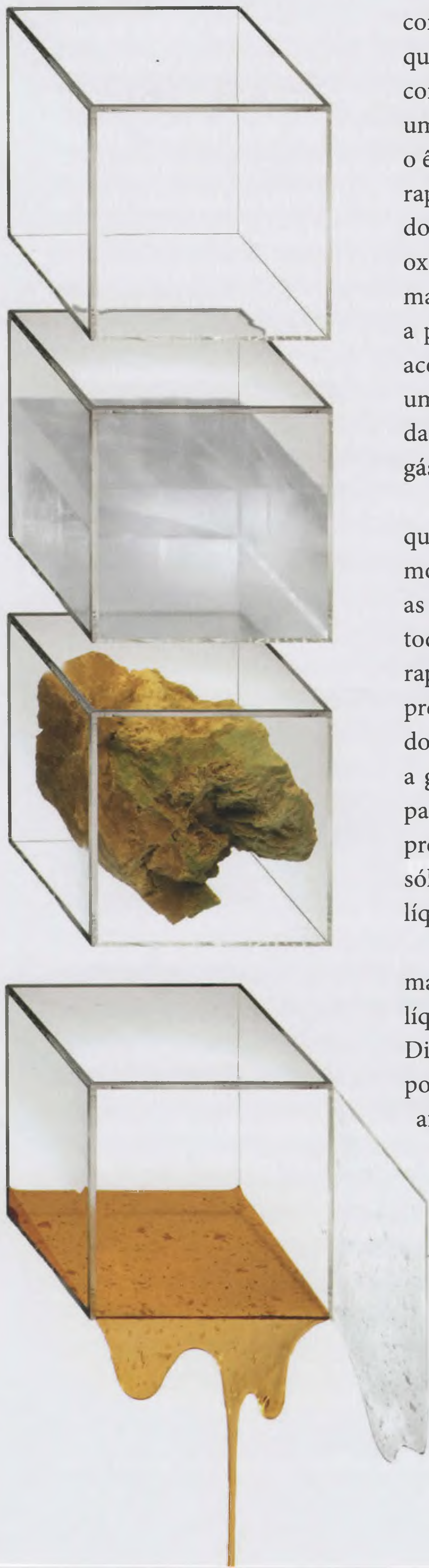
Todos os cristais são construídos desse mesmo modo, com átomos regularmente espaçados, e isso dá a forma do cristal como um todo. Aliás, é isso que quer dizer cristal. Alguns "soldados" são capazes de "entrar em formação" de vários modos, produzindo cristais bem diferentes. Quando assumem dada formatura, átomos de carbono produzem os cristais de diamante famosos pela dureza. Mas quando adotam uma formação diferente, produzem cristais de grafite, um material tão macio que é usado como lubrificante.

ÁTOMOS DE CARBONO EM UM DIAMANTE

Quando falamos em cristais pensamos logo em objetos transparentes, e até usamos o termo "cristalino" para descrever a água pura. Mas na verdade a maioria das coisas sólidas é feita de cristais e não é transparente. Um pedaço de ferro é um aglomerado de cristais minúsculos, cada um composto de milhões de átomos de ferro, espaçados "em formação" como os átomos de carbono em um diamante. Chumbo, alumínio e ouro são feitos de cristais, com diferentes átomos. O mesmo vale para as rochas, como o granito e o arenito, só que a maioria delas consiste em misturas de muitos tipos de minúsculos cristais reunidos.

A areia também é cristalina. Aliás, muitos grãos de areia não passam de minúsculos pedaços de rocha que o vento e a água pulverizaram. O mesmo se pode dizer da lama, que é rocha pulverizada misturada a um líquido. Grãos de areia e de lama podem voltar a se aglomerar formando novas rochas, chamadas "sedimentares". (Um sedimento é feito de pedacinhos de matéria sólida que se assentam no fundo de um líquido, como em um rio ou lago.) A areia do arenito é feita principalmente de quartzo e feldspato, dois cristais comuns na crosta terrestre. O calcário é diferente. Assim como o giz, ele é de carbonato de cálcio e provém de esqueletos moídos de corais e conchas marinhas, inclusive das conchas de criaturas unicelulares chamadas foraminíferos. Praias de areia muito branca normalmente foram formadas pelo carbonato de cálcio dessas conchas.

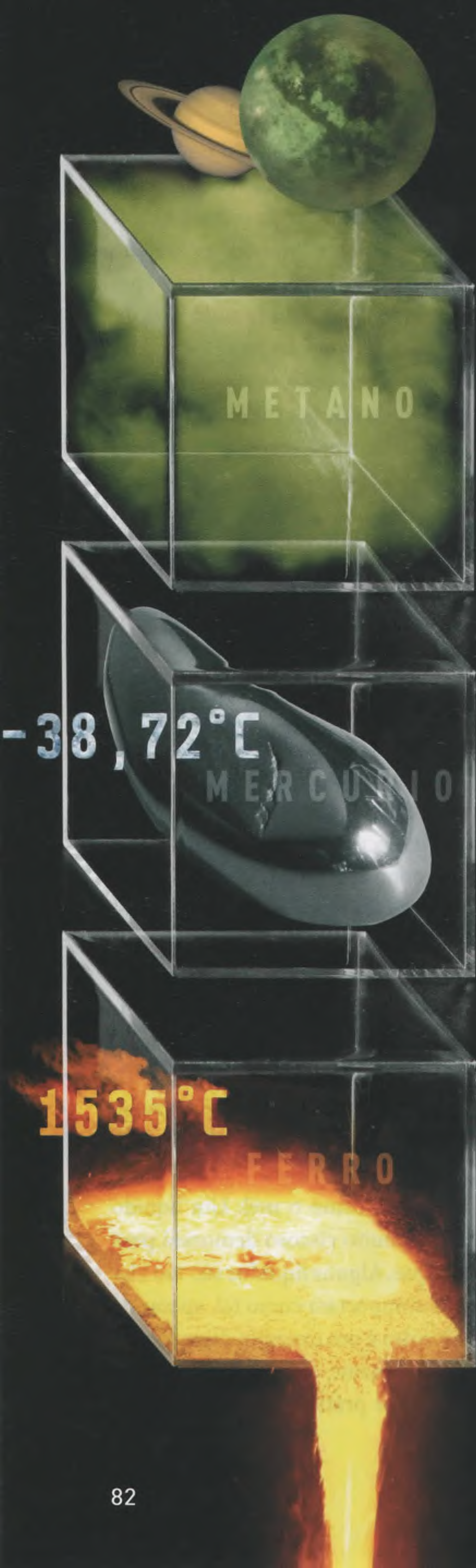
Há cristais feitos de um único tipo de átomo "em formação de desfile", como diamante, ouro, cobre e ferro. Outros são feitos de dois tipos de átomo, também rigorosamente dispostos em formação. O sal não é um elemento, e sim um composto de dois elementos: sódio e cloro. Em um cristal de sal, esses átomos estão dispostos alternadamente. Na verdade, nesse caso não falamos em átomos, mas "íons", porém não entrarei em detalhes dessa designação. Cada íon de sódio tem seis íons de cloro como vizinhos, dispostos em ângulos retos: na frente, atrás, à esquerda, à direita, acima e abaixo. Cada íon de cloro é rodeado de íons de sódio exatamente do mesmo modo. O arranjo é composto de quadrados, e é por isso que se você examinar os cristais de sal com uma lupa potente vai perceber que são cúbicos ou têm as bordas quadrangulares. Muitos outros cristais são feitos de mais de um tipo de átomo "em formação de desfile", e vários deles são encontrados em rochas, na areia e no solo.

Sólido, líquido, gasoso — como as moléculas se movem

Os cristais são sólidos, mas também existem líquidos e gases. Em um gás, as moléculas não ficam juntas: movem-se livremente e em alta velocidade por todo o espaço à disposição, viajando em linhas retas, como bolas de bilhar (só que em três dimensões e não duas, como na mesa de bilhar). Elas se movem até colidir com algo, como outra molécula ou as paredes de um recipiente. Quando isso ocorre, as moléculas ricocheteiam

como as bolas de bilhar. Gases podem ser comprimidos, o que prova que existe muito espaço entre os átomos e as moléculas. Quando comprimimos um gás, ele parece elástico. Ponha o dedo no bico de uma bomba de bicicleta e sinta a elasticidade quando você empurra o êmbolo. Se mantiver o dedo ali, quando o soltar ele voltará a subir rapidamente. Isso que você sente é chamado de "pressão" e é o efeito dos milhões de moléculas de ar (uma mistura de nitrogênio com oxigênio e outros gases) bombardeando o êmbolo (e tudo o mais, mas essa é a única parte capaz de se mover em resposta). Quando a pressão é alta, o bombardeio ocorre com mais intensidade. Isso acontece se o mesmo número de moléculas de gás for confinado em um volume menor (por exemplo, quando você empurra o êmbolo da bomba) ou se você eleva a temperatura, o que faz as moléculas de gás se moverem mais rápido.

Em um líquido, as moléculas se movem ou "fluem" (razão pela qual usamos o termo "fluido" para ambos, mas não para sólidos). As moléculas de um líquido, porém, estão muito mais próximas do que as de um gás. Se você puser gás em um tanque lacrado, ele preenche todas as partes do tanque até o topo. O volume do gás se expande rapidamente até ocupar o recipiente inteiro. Um líquido também preenche todos os espaços, mas só até determinado nível, ocupando um volume fixo para determinada quantidade de líquido. Como a gravidade atrai o líquido para baixo, ele preenche esse espaço a partir do fundo. É por isso que as moléculas de um líquido ficam próximas umas das outras. Mas, ao contrário das moléculas de um sólido, elas deslizam umas sobre as outras, e é por essa razão que um líquido se comporta como um fluido.

Um sólido nem tenta preencher o tanque: ele mantém sua forma. Isso acontece porque suas moléculas não deslizam como as dos líquidos. Elas se conservam (mais ou menos) na mesma posição. Digo "mais ou menos" porque até em um sólido elas se mexem um pouco (mais depressa em temperaturas mais altas), porém não se afastam de sua posição na "formação de desfile" no cristal o bastante para afetar sua forma.

Certos líquidos são "viscosos", como o mel. Um líquido viscoso flui bem devagar e se for muito viscoso demorará para preencher o fundo todo do tanque. Alguns líquidos são tão viscosos que parecem sólidos e se comportam como tal, apesar de não serem feitos de cristais. O vidro é um exemplo disso: diz-se que ele "flui", mas o faz tão lentamente que levamos séculos para perceber. Por isso, para efeitos práticos, podemos considerar o vidro sólido.

Os "estados" comuns da matéria são: sólido, líquido e gasoso. Muitas substâncias são capazes de assumir esses três estados a diferentes temperaturas. Na Terra, o metano é um gás (muitos o chamam de "gás dos pântanos", porque ele emana borbulhante dos lodaçais e às vezes pega fogo), mas na enorme e gélida lua de Saturno batizada de Titã existem lagos de metano. Se um planeta for ainda mais frio, poderá ter rochas de metano. Geralmente pensamos no mercúrio como líquido, mas isso em temperaturas comuns na Terra. Se for exposto ao inverno ártico, ele é sólido. O ferro é líquido quando levado a uma temperatura suficientemente alta, mas ao redor do centro da Terra existe um mar de ferro e níquel, ambos em estado líquido. Até onde sei, é possível que existam planetas muito quentes com oceanos de ferro na superfície e estranhas criaturas podem até nadar nesses mares, embora eu duvide disso. Para os nossos padrões, o ferro congela a uma temperatura alta, por isso na superfície da Terra geralmente o encontramos como "ferro — o frio ferro";* o ponto de congelamento do mercúrio se dá a uma temperatura baixa, por isso costumamos encontrá-lo em sua forma líquida. No outro extremo da escala de temperatura, tanto o mercúrio como o ferro tornam-se gases quando bastante aquecidos.

METANO

-38,72°C

MERCÚRIO

1535°C

FERRO

Dentro do átomo

Quando nos imaginamos cortando matéria nos menores pedaços possíveis, paramos no átomo. Um átomo de chumbo é a menor parte que ainda merece ser chamada de chumbo. Mas não se pode cortar mais ainda? E teria um átomo de chumbo a aparência de um minúsculo pedaço de chumbo? Não, ele não se pareceria com chumbo nem com coisa nenhuma. Um átomo é pequeno demais para ser visto, mesmo com um microscópio potente. E sim, podemos cortar um átomo em pedaços ainda menores, mas o que obteremos não será o mesmo elemento, por razões que veremos em breve. E tem mais: isso é dificílimo de fazer e libera uma quantidade de energia assustadora. É por isso que algumas pessoas acham a expressão "dividir o átomo" agourenta. Quem fez isso pela primeira vez foi o grande cientista neozelandês Ernest Rutherford, em 1919.

*Do poema "Cold iron", de Rudyard Kipling, autor que aprecio muito, embora esteja fora de moda.

Embora não possamos ver um átomo nem dividi-lo sem transformá-lo em outra coisa, isso não significa que não podemos descobrir o que há dentro dele. Como expliquei no capítulo 1, quando os cientistas não podem enxergar algo diretamente, propõem um modelo de como poderia ser e então o submetem a testes. Um modelo científico é um modo de pensar a respeito de como as coisas poderiam ser. Assim, um modelo de átomo é uma espécie de imagem mental de como seria o interior de um átomo. Pode parecer uma ideia fantasiosa, mas os cientistas não se limitam a propor um modelo: vão adiante e o submetem a testes. Dizem: "Se este modelo que estou imaginando corresponder à verdade, podemos esperar que tais coisas ocorram no mundo real". Eles preveem o que encontraremos fazendo experimentos e medições. Um modelo bem-sucedido é aquele cujas previsões se realizam, especialmente se passarem no teste do experimento. Se isso acontecer, supomos que significa que o modelo representa a verdade, ou pelo menos parte dela.

Às vezes as previsões não se realizam e lá se vão os cientistas de volta ao trabalho para ajustar o modelo ou imaginar outro e fazer novos testes. De qualquer modo, esse processo de propor um modelo e testá-lo — que chamamos de "método científico" — chegam muito mais perto de descobrir como as coisas realmente são do que os mitos mais imaginativos e bonitos inventados para explicar o que as pessoas não entendiam — e que muitas vezes era impossível de entender na época.

Um dos primeiros modelos de átomo, conhecido como "pudim de passas", foi proposto pelo grande físico inglês J. J. Thomson no final do século XIX. Não o descreverei porque ele foi substituído por outro mais bem-sucedido, o modelo de Rutherford, proposto pelo mesmo homem que dividiu o átomo. Rutherford fora da Nova Zelândia à Inglaterra para trabalhar como pupilo de Thomson e sucedeu seu mestre na cátedra de física de Cambridge. O modelo dele, posteriormente refinado por seu pupilo Niels Bohr, célebre físico dinamarquês, vê o átomo como um sistema solar em miniatura. Há um núcleo, que contém a maior parte da matéria. E há minúsculas partículas denominadas elétrons que "orbitam" esse núcleo em velocidade ("orbitar" pode ser um termo enganoso se fizer você pensar apenas em um planeta orbitando o Sol, pois um elétron não é uma bolinha minúscula em um lugar definido).

Uma surpresa no modelo Rutherford/Bohr, mas que provavelmente reflete a realidade, é que a distância entre os núcleos é imensa se comparada ao tamanho deles, até mesmo num pedaço de matéria sólida duro como um diamante. Os núcleos ficam muito distantes. Prometo voltar a esse assunto.

Lembra que eu disse que um cristal de diamante é uma gigantesca molécula feita de átomos de carbono dispostos como soldados em formação de desfile, mas em três dimensões? Pois bem, agora podemos refinar nosso modelo do diamante dando-lhe escala — ou seja, uma noção de como os tamanhos e distâncias se relacionam. Suponha que representamos o núcleo de cada átomo de carbono no cristal não como um soldado, mas como uma bola de futebol, com elétrons em sua órbita. Assim, as bolas de futebol vizinhas no diamante estariam a mais de quinze quilômetros de distância.

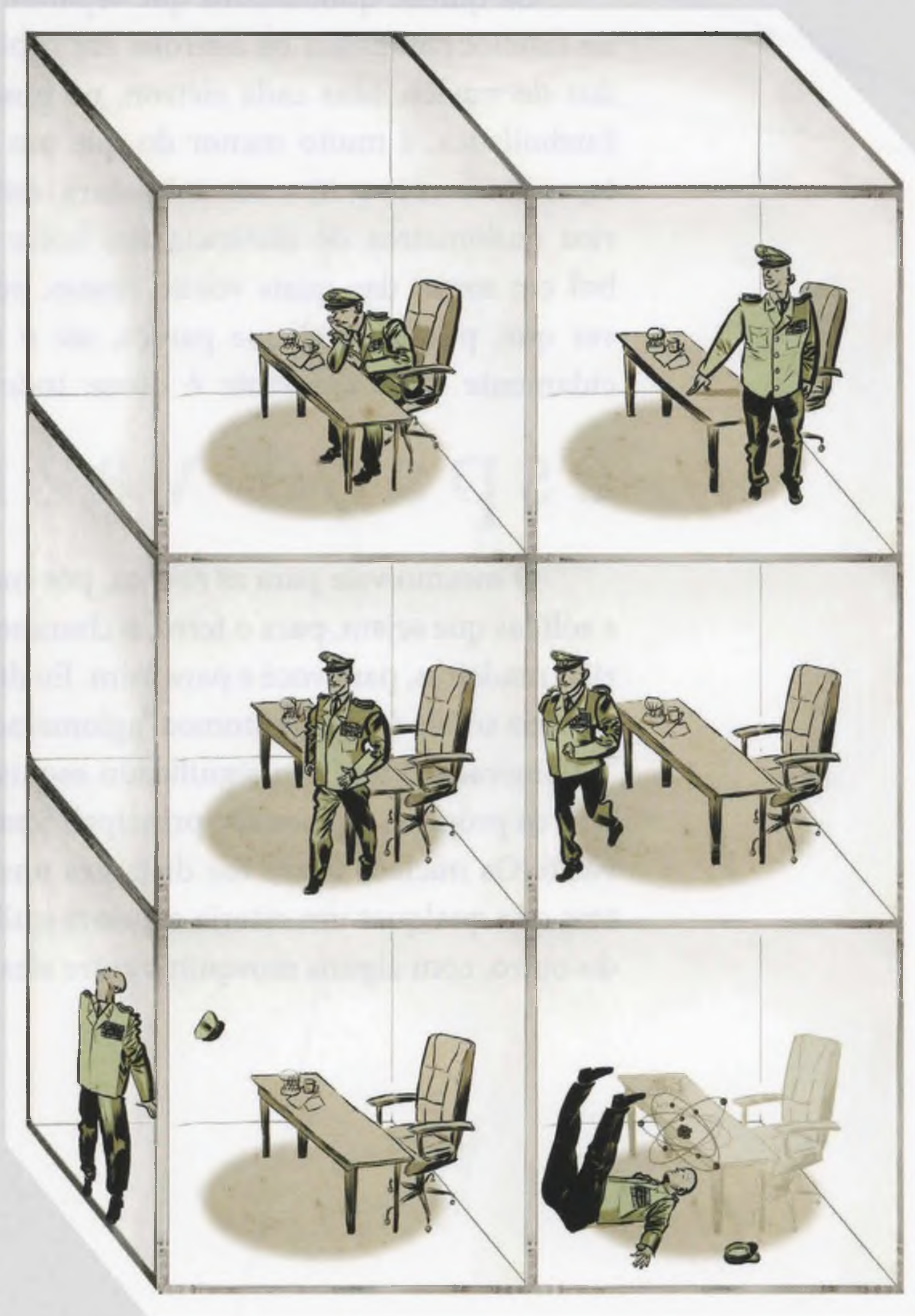
Os quinze quilômetros que separam as bolas de futebol conteriam os elétrons em órbita ao redor do núcleo. Mas cada elétron, na nossa escala futebolística, é muito menor do que um mosquito, e esses mosquitos em miniatura estão a vários quilômetros de distância das bolas de futebol em torno das quais voam. Assim, você pode ver que, por incrível que pareça, até o reconhecidamente duro diamante é quase todo ele um

espaço vazio!

O mesmo vale para as rochas, por mais duras e sólidas que sejam, para o ferro, o chumbo, as mais rijas madeiras, para você e para mim. Eu disse que a matéria sólida é feita de átomos "aglomerados", mas "aglomerados" tem um significado esquisito aqui, pois os próprios átomos são principalmente espaço vazio. Os núcleos ficam tão distantes uns dos outros que qualquer um estaria a quinze quilômetros do outro, com alguns mosquitos entre eles.

Como é possível? Se uma rocha é quase inteiramente espaço vazio pontilhado por matéria, como bolas de futebol separadas por quilômetros, por que uma rocha nos dá a sensação de ser dura e sólida? Por que não se desmancha como um castelo de cartas quando sentamos nela? Por que não enxergamos através dela? Se tanto uma parede como eu somos principalmente espaço vazio, por que não consigo atravessá-la? Existe uma história engraçada sobre um general americano chamado Stubblebine que tentou fazer isso. Eis sua história, que já contei em outro livro meu.

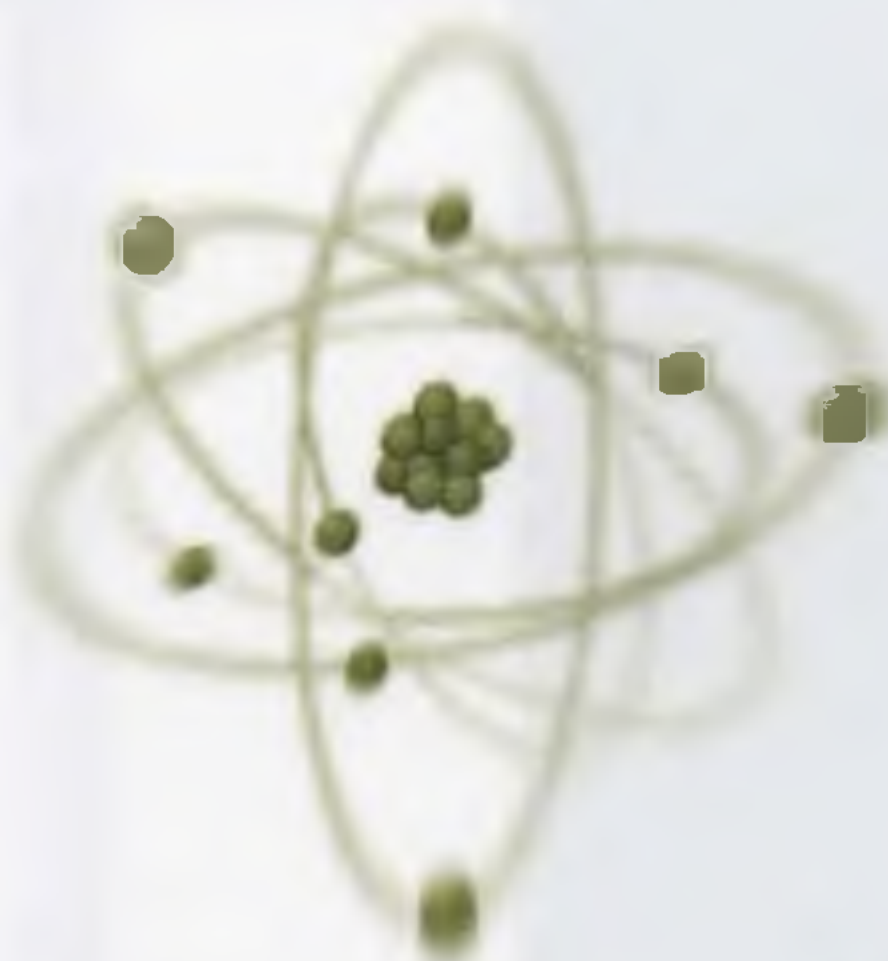
Esta é uma história verdadeira.

No verão de 1983, o general de divisão Albert Stubblebine III está sentado à sua mesa em Arlington, no estado da Virginia, fitando a parede na qual pendurou suas numerosas condecorações militares. Elas representam uma longa e ilustre carreira. Stubblebine é o chefe da inteligência do Exército dos Estados Unidos e tem 16 mil soldados sob seu comando… Ele olha a parede que contém suas condecorações. Há uma coisa que sente que tem de fazer, embora a ideia o amedronte. Pensa na escolha que o espera. Pode permanecer em sua sala ou ir para a sala ao lado. Eis sua escolha. Ele decide. Vai para a sala ao lado… Levanta-se, sai de trás da mesa e começa a andar. Vai pensando: afinal, de que é feito principalmente um átomo? De espaço! Acelera. De que eu sou feito principalmente? Ora, de átomos, ele pensa. Agora já está quase correndo. E de que é feita principalmente a parede? De átomos! Tudo o que tenho a fazer é combinar os espaços… E o general Stubblebine dá com o nariz na parede da sala. Droga, ele pensa. O homem fica perplexo com seu contínuo fracasso em atravessar a parede.

Quem não sente pena do general? Ele sabia que a parede, assim como seu próprio corpo, era feita de átomos espaçados. Ora, se a parede e seu próprio corpo consistiam sobretudo de espaço vazio, ele deveria ser capaz de atravessá-la passando seus átomos por entre os átomos dela! Mas por que não conseguia?

Por que as rochas e as paredes nos dão a sensação de dureza e por que não conseguimos combinar nossos espaços com os espaços delas? Temos de entender (coisa que o pobre general fez de modo doloroso) que o que sentimos e vemos como matéria sólida é mais do que apenas núcleos e elétrons — as "bolas de futebol" e os "mosquitos". Os cientistas falam em "forças", "ligações" e "campos" que atuam cada qual a seu modo para manter as "bolas de futebol" distanciadas e os componentes de cada "bola" juntos. São essas forças e campos que dão solidez aos objetos.

Em coisas tão pequenas como átomos e núcleos, a distinção entre "matéria" e "espaço vazio" começa a não fazer sentido. Não é correto dizer que o núcleo é "matéria" e que existe "espaço vazio" até o núcleo mais próximo.

Definimos matéria sólida como aquilo que não podemos atravessar. Não podemos atravessar uma parede devido às misteriosas forças que ligam o núcleo aos seus vizinhos numa posição fixa. É isso que significa sólido.

Líquido significa algo semelhante, só que os misteriosos campos e forças mantêm os átomos unidos de um modo menos coeso, e assim eles deslizam uns sobre os outros. Por isso podemos atravessar a água, embora não tão depressa quanto o ar. O ar, sendo um gás (na verdade, uma mistura de gases), é fácil de atravessar, pois seus átomos vivem se movimentando livremente em alta velocidade. Um gás só se torna difícil de ser atravessado se a maioria de seus átomos estiver se movendo na mesma direção e você quiser passar por ele vindo da direção oposta. É isso que acontece quando tentamos andar contra o vento. Pode ser difícil andar contra um vendaval, e até impossível andar contra um furacão ou a ventania produzida por uma turbina de avião.

Não podemos atravessar matéria sólida, mas algumas partículas muito pequenas, como os fótons, podem. Feixes de luz são fluxos de fótons e podem atravessar alguns tipos de matéria sólida, aqueles que chamamos de "transparentes". Algo no arranjo das "bolas de futebol" no vidro, na água e em certas pedras preciosas permite que

fótons

os atravessem, embora percam um pouco de velocidade, do mesmo modo que desaceleramos ao andar na água.

Com algumas exceções, como os cristais de quartzo, as rochas não são transparentes, e os fótons não podem atravessá-las. Dependendo da cor da rocha, são absorvidos por ela ou refletidos em sua superfície. O mesmo vale para a maioria das outras coisas sólidas. Alguns sólidos refletem fótons de um modo muito especial, em linha reta, e nós os chamamos de espelhos. Mas a maioria das coisas sólidas absorve a maior parcela dos fótons (não são transparentes), e espalham até mesmo aqueles que elas refletem (não se comportam como espelhos). Elas podem ser "opacas" ou dotadas de cor, o que depende dos tipos de fótons que absorvem e dos tipos que refletem. Voltarei ao importante tema das cores no capítulo 7, "O que é um arco-íris?". Enquanto isso, precisamos focar nossa visão no que é realmente muito pequeno e olhar dentro do núcleo — dentro da bola de futebol.

A menor de todas as coisas

O núcleo não é realmente como uma bola de futebol. Aquilo era apenas uma analogia grosseira. Aliás, ainda não está claro se podemos dizer que o núcleo tem uma forma.

Talvez a própria palavra **forma** assim como "sólido", perca o sentido em tamanhos mínimos. E estamos falando em tamanhos minúsculos mesmo.

O ponto final desta sentença contém cerca de 1 milhão de átomos de tinta de impressão.

Cada núcleo contém partículas menores, os prótons e os nêutrons. Você pode imaginá-las como bolas, se quiser, mas assim como os núcleos elas não são bolas na realidade. Os prótons e nêutrons são aproximadamente do mesmo tamanho. São muito, muito pequenos mesmo, porém ainda assim são mil vezes maiores que os elétrons (os "mosquitos") que orbitam o núcleo. A principal diferença entre um próton e um nêutron é que o próton tem carga elétrica. Os elétrons têm carga elétrica oposta à dos prótons. Não precisamos nos preocupar agora com o que isso significa. Só que os nêutrons não têm carga.

Como os elétrons são muito, muito, muito pequenos (enquanto os prótons e nêutrons são apenas muito, muito pequenos), a massa de um átomo, para todos os efeitos, é dada apenas por seus prótons e nêutrons. O que significa "massa"? Bem, você pode pensar nela mais ou menos como o peso, e pode medi-la usando as mesmas unidades (gramas ou libras). No entanto, peso não é o mesmo que massa, e é preciso explicar essa diferença, mas vou deixar isso para o próximo capítulo. Por enquanto, apenas pense na massa como algo parecido com peso.

U
Urânio

Pb
Chumbo

C
Carbono

A massa de um objeto depende quase inteiramente de quantos prótons e nêutrons ele contém em todos os seus átomos somados. O número de prótons no núcleo de qualquer átomo de dado elemento é sempre o mesmo, e é igual ao número de elétrons em órbita ao redor do núcleo, embora os elétrons não contribuam significativamente para a massa por serem pequenos demais. Um átomo de hidrogênio possui apenas um próton (e um elétron). Um átomo de urânio contém 92 prótons. O chumbo tem 82. O carbono, 6. Para cada número possível de um a cem (e alguns mais), existe um e apenas um elemento que possui esse número de prótons (e esse número de elétrons). Não especificarei todos, mas seria fácil fazê-lo (Lalla, minha mulher, sabe recitá-los de cor, bem depressa, um truque que desenvolveu para treinar a memória e que usa para ajudá-la a adormecer).

O número de prótons (ou de elétrons) que um elemento possui é conhecido como o número atômico desse elemento. Assim, você pode identificar um elemento não só por seu nome, mas por esse número. Por exemplo, o elemento seis é o carbono; o elemento 82 é o chumbo. Os elementos são convenientemente representados na tabela periódica. Não vou explicar a razão desse

TABELA PERIÓDICA

número atômico- 1 1.0079 -massa atômica
símbolo- H
Hidrogênio -nome

Ne - gás   Fe - sólido
Ga - líquido   Bh - sintético

1 1.0079 H Hidrogênio																	2 4.0026 He Hélio
3 6.941 Li Lítio	4 9.0122 Be Berílio											5 10.81 B Boro	6 12.01 C Carbono	7 14.007 N Nitrogênio	8 15.999 O Oxigênio	9 18.998 F Flúor	10 20.180 Ne Neônio
11 22.990 Na Sódio	12 24.305 Mg Magnésio											13 26.982 Al Alumínio	14 28.086 Si Silício	15 30.974 P Fósforo	16 32.065 S Enxofre	17 35.453 Cl Cloro	18 39.948 Ar Argônio
19 39.098 K Potássio	20 40.078 Ca Cálcio	21 44.956 Sc Escândio	22 47.867 Ti Titânio	23 50.942 V Vanádio	24 51.996 Cr Cromo	25 54.938 Mn Manganês	26 55.845 Fe Ferro	27 58.933 Co Cobalto	28 58.693 Ni Níquel	29 63.546 Cu Cobre	30 65.39 Zn Zinco	31 69.723 Ga Gálio	32 72.64 Ge Germânio	33 74.922 As Arsênio	34 78.96 Se Selênio	35 79.904 Br Bromo	36 83.80 Kr Criptônio
37 85.468 Rb Rubídio	38 87.62 Sr Estrôncio	39 88.906 Y Ítrio	40 91.224 Zr Zircônio	41 92.906 Nb Nióbio	42 95.94 Mo Molibdênio	43 (98) Tc Tecnécio	44 101.07 Ru Rutênio	45 102.91 Rh Ródio	46 106.42 Pd Paládio	47 107.87 Ag Prata	48 112.41 Cd Cádmio	49 114.82 In Índio	50 118.71 Sn Estanho	51 121.76 Sb Antimônio	52 127.60 Te Telúrio	53 126.90 I Iodo	54 131.29 Xe Xenônio
55 132.91 Cs Césio	56 137.33 Ba Bário	57-71 La-Lu Lantanídeos	72 178.49 Hf Háfnio	73 180.95 Ta Tântalo	74 183.84 W Tungstênio	75 186.21 Re Rênio	76 190.23 Os Ósmio	77 192.22 Ir Irídio	78 195.08 Pt Platina	79 196.97 Au Ouro	80 200.59 Hg Mercúrio	81 204.38 Tl Tálio	82 207.2 Pb Chumbo	83 208.98 Bi Bismuto	84 (209) Po Polônio	85 (210) At Astato	86 (222) Rn Radônio
87 (223) Fr Frâncio	88 (226) Ra Rádio	89-103 Ac-Lr Actinídeos	104 (261) Rf Rutherfórdio	105 (262) Db Dúbnio	106 (266) Sg Seabórgio	107 (264) Bh Bóhrio	108 (277) Hs Hássio	109 (268) Mt Meitnério	110 (281) Uun Ununílio	111 (272) Uuu Ununúnio	112 (285) Uub Unúnbio		114 (289) Uuq Ununquádio				

Lantanídeos	57 138.91 La Lantânio	58 140.12 Ce Cério	59 140.91 Pr Praseodímio	60 144.24 Nd Neodímio	61 (145) Pm Promécio	62 150.36 Sm Samário	63 151.96 Eu Európio	64 157.25 Gd Gadolínio	65 158.93 Tb Térbio	66 162.50 Dy Disprósio	67 164.93 Ho Hólmio	68 167.26 Er Érbio	69 168.93 Tm Túlio	70 173.04 Yb Itérbio	71 174.97 Lu Lutécio
Actinídeos	89 (227) Ac Actínio	90 232.04 Th Tório	91 231.04 Pa Protactínio	92 238.03 U Urânio	93 (237) Np Netúnio	94 (244) Pu Plutônio	95 (243) Am Amerício	96 (247) Cm Cúrio	97 (247) Bk Berquélio	98 (251) Cf Califórnio	99 (252) Es Einstênio	100 (257) Fm Férmio	101 (258) Md Mendelévio	102 (259) No Nobélio	103 (262) Lr Laurêncio

nome, apesar de ser interessante. Mas agora é o momento de voltar, como prometi, a por que, quando cortamos um pedaço de chumbo em pedaços cada vez menores, acabamos chegando a um ponto em que, se o cortarmos mais uma vez, ele deixa de ser chumbo. Um átomo de chumbo possui 82 prótons. Se você o dividir, ele não terá mais 82 prótons e deixará de ser chumbo.

O número de nêutrons no núcleo de um átomo é menos fixo que o de prótons: muitos elementos têm diferentes versões, denominadas isótopos, com diferente número de nêutrons. Por exemplo, há três isótopos do carbono, chamados carbono-12, carbono-13 e carbono-14. O número refere-se à massa do átomo, que é a soma dos prótons e nêutrons. Cada um possui seis prótons. O carbono-12 tem seis nêutrons, o carbono-13 tem sete e o carbono-14 tem oito. Alguns isótopos, como o carbono-14, são radioativos, o que significa que podem se transformar em outros elementos a uma taxa previsível, embora em momentos imprevisíveis. Os cientistas podem usar essa característica para ajudá-los a calcular a idade dos fósseis. O carbono-14 é usado para datar objetos mais recentes, como antigos navios de madeira.

Pois bem. A missão de cortar coisas em pedaços cada vez menores termina nessas três partículas, elétrons, prótons e nêutrons? Não. Até mesmo os prótons e nêutrons têm um interior. Até eles contêm coisas ainda menores, os quarks. Mas esse é um assunto que não abordarei neste livro. Não porque eu ache que você não entenderia. É porque sei que *eu* não entendo! Entramos aqui em um reino misterioso. E é importante reconhecer quando atingimos os limites daquilo que compreendemos. Provavelmente chegará o dia em que entenderemos isso, e os cientistas estão trabalhando nesse sentido com muitas esperanças de sucesso. Mas temos de saber o que é que não entendemos e admitir isso para nós mesmos antes de começar a investigar. Existem cientistas que entendem pelo menos alguma coisa desse reino misterioso do que é muito pequeno, mas não sou um deles. Conheço minhas limitações.

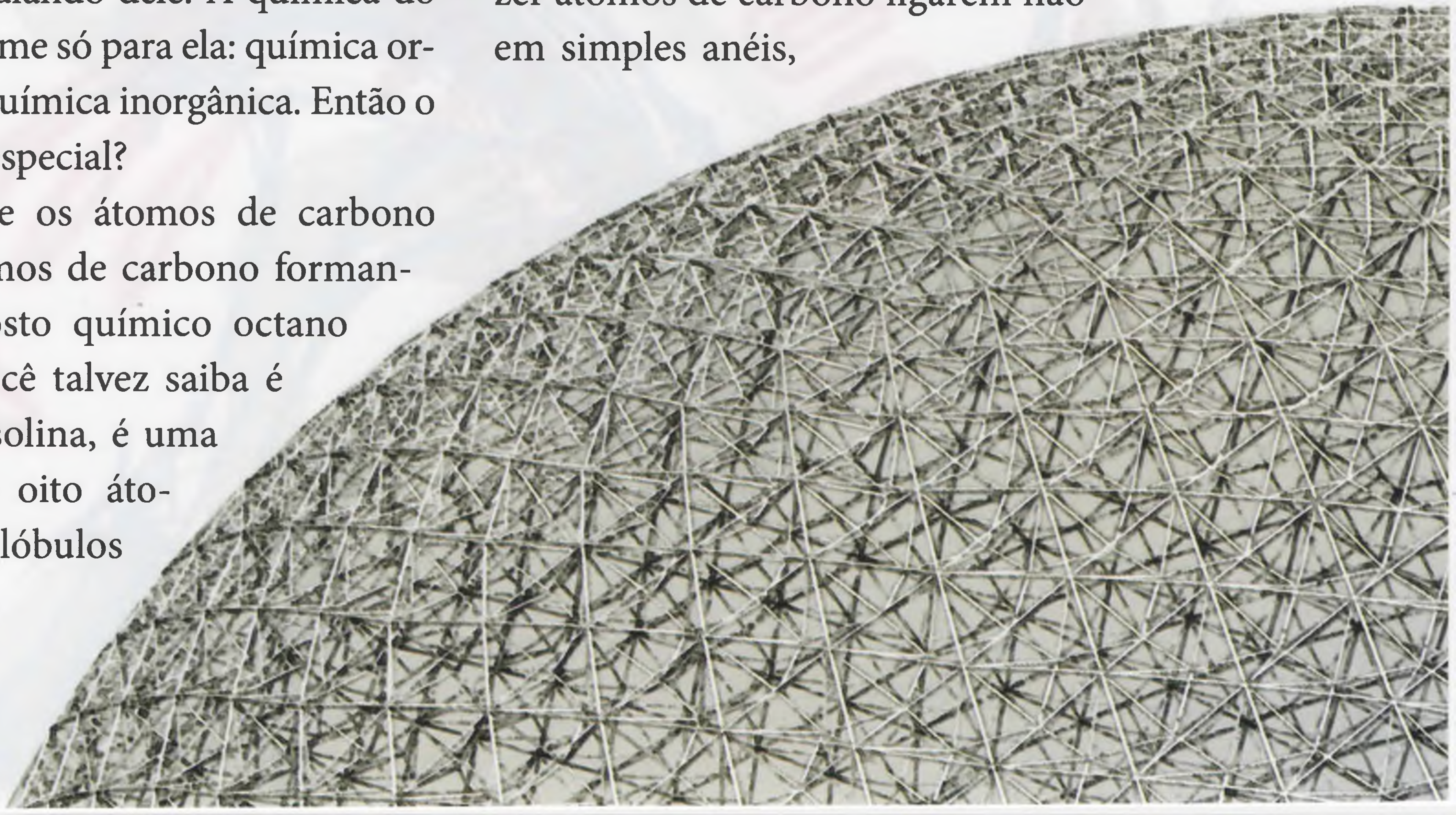
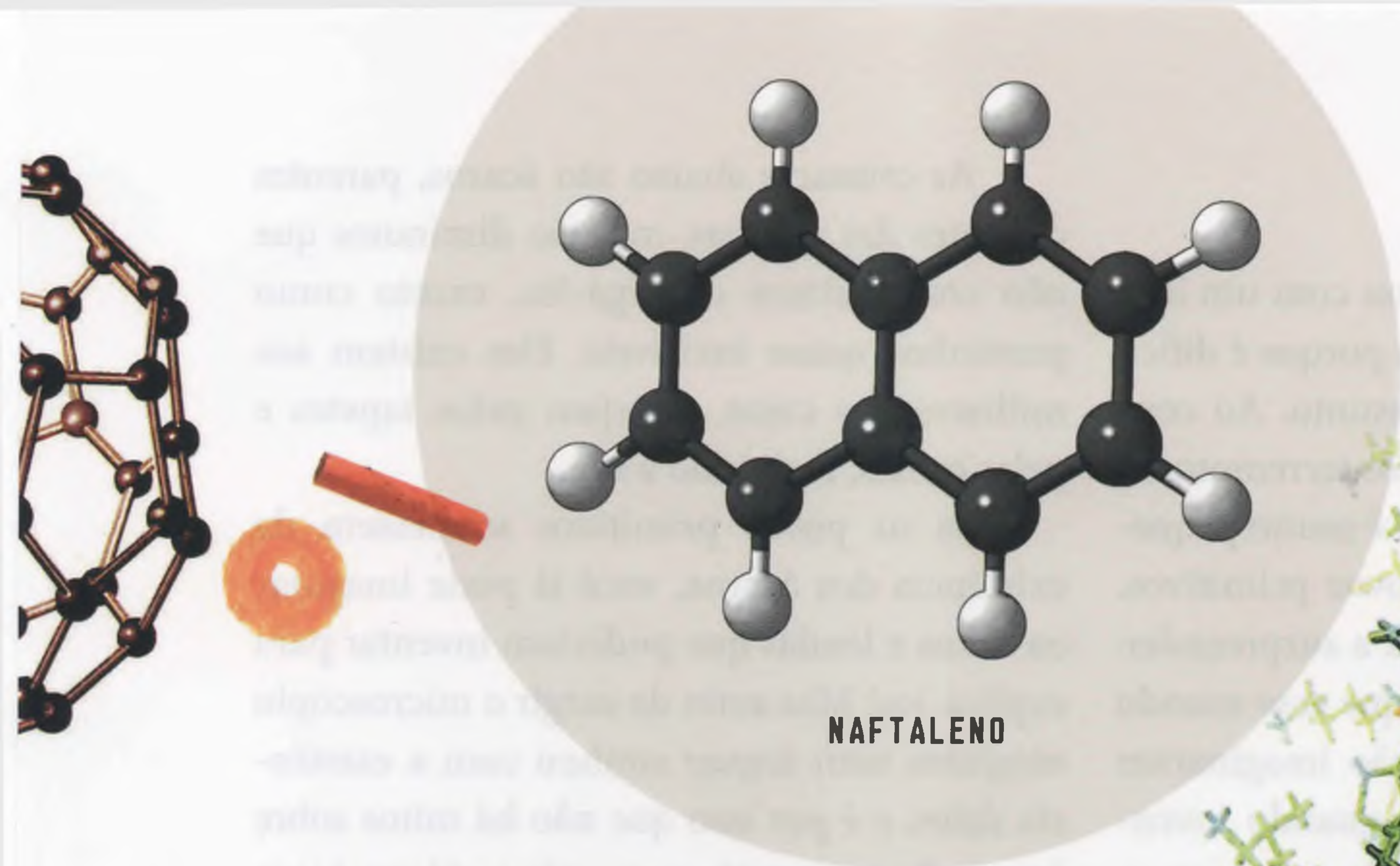
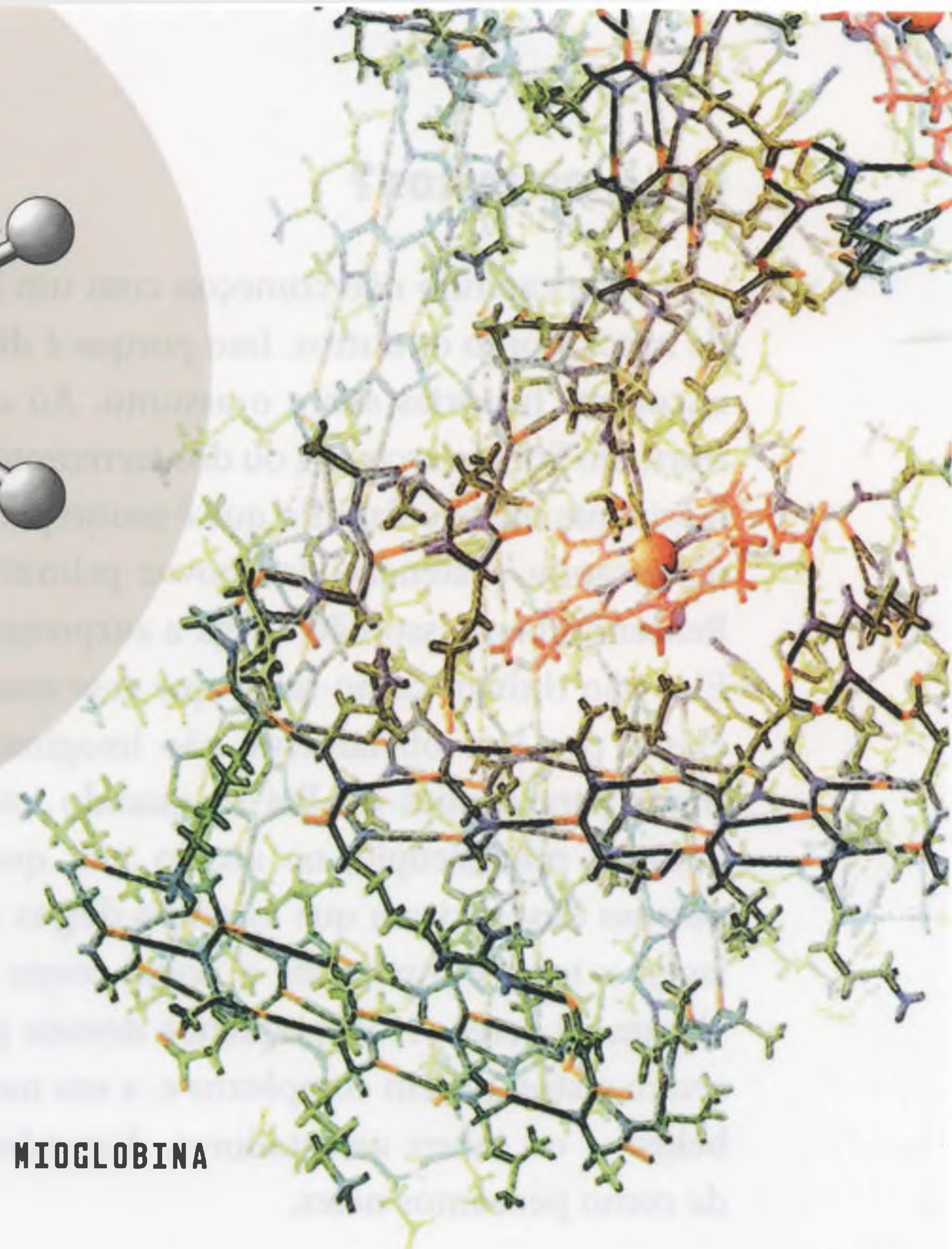
Carbono — o andaime da vida

Todos os elementos são especiais, cada qual a seu modo. Mas um deles, o carbono, é tão especial que terminarei o capítulo falando dele. A química do carbono tem até um nome só para ela: química orgânica. Todo o resto é química inorgânica. Então o que o carbono tem de especial?

A resposta é que os átomos de carbono ligam-se a outros átomos de carbono formando cadeias. O composto químico octano (acima), que como você talvez saiba é um ingrediente da gasolina, é uma cadeia bem curta de oito átomos de carbono (os glóbulos pretos na ilustração) com átomos de hidrogênio (os átomos cinza) projetando-se para os lados. O impressionante no carbono é que ele é capaz de formar cadeias de qualquer comprimento, encadeando centenas de átomos. Às vezes, as cadeias juntam suas extremidades formando um anel. Por exemplo, acima à direita vemos o naftaleno (a substância de que é feita a naftalina), cujas moléculas também são feitas de carbono ligado a hidrogênio, desta vez em dois anéis. A química do carbono lembra aquele brinquedo de montar composto de pequenas bolas e hastes que se encaixam para formar as mais diversas figuras, chamado Tinkertoy.

No laboratório, os químicos conseguiram fazer átomos de carbono ligarem não em simples anéis,

NAFTALENO

MIOGLOBINA

mas em moléculas de formas esplêndidas que parecem construídas com Tinkertoy, e eles as apelidaram de Buckyballs e Buckytubes. "Bucky" era o apelido de Buckminster Fuller, o grande arquiteto americano que inventou a cúpula geodésica. Você perceberá a relação se olhar a figura abaixo. As Buckyballs e Buckytubes criadas pelos cientistas são moléculas artificiais, mas ilustram o estilo Tinkertoy em que os átomos de carbono podem se ligar em estruturas semelhantes a andaimes que podem ter tamanhos indefinidamente grandes. (Recentemente, ouvimos a emocionante notícia de que foram detectadas Buckyballs no espaço cósmico, na poeira nas vizinhanças de uma estrela remota.) A química do carbono possibilita um número quase infinito de moléculas, todas de formas diferentes, e milhares de moléculas distintas são encontradas no corpo dos seres vivos. Acima vemos uma chamada mioglobina, enorme, que é encontrada, em milhões de cópias, em todos os nossos músculos. A ilustração não mostra os átomos individuais, apenas as ligações entre eles.

Nem todos os átomos de mioglobina são de carbono, mas são eles que se ligam nessas fascinantes estruturas, e é isso que possibilita de fato a vida. Considerando que a mioglobina é apenas uma entre milhares de outras moléculas complexas nas células vivas, podemos imaginar que, assim como é possível construir praticamente qualquer coisa com inúmeras peças de Tinkertoy, a química do carbono também fornece a imensa variedade de formas possíveis requeridas para montar algo tão complexo quanto um organismo vivo.

Ué, e os mitos?

Este capítulo não começou com um lista de mitos, como os outros. Isso porque é difícil encontrar histórias sobre o assunto. Ao contrário do Sol, do arco-íris ou dos terremotos, o fascinante mundo daquilo que é muito pequeno escapou à atenção dos povos primitivos. Pensando bem, isso não chega a surpreender. Eles não tinham como saber que esse mundo existe, por isso obviamente não imaginaram mitos para explicá-lo! Foi só quando inventaram o microscópio, no século XVI, que as pessoas descobriram que as poças d'água e os lagos, a terra e o pó e até o nosso corpo fervilham de seres vivos, pequenos demais para serem vistos, porém complexos e, a seu modo, belos — ou talvez assustadores, dependendo de como pensamos neles.

As criaturas abaixo são ácaros, parentes distantes das aranhas, mas tão diminutos que não conseguimos enxergá-los, exceto como pontinhos quase invisíveis. Eles existem aos milhares nas casas, rastejam pelos tapetes e pelas camas, incluindo a sua.

Se os povos primitivos soubessem da existência dos ácaros, você já pode imaginar os mitos e lendas que poderiam inventar para explicá-los! Mas antes de surgir o microscópio ninguém nem sequer sonhou com a existência deles, e é por isso que não há mitos sobre ácaros. E, mesmo tão pequenino, até um ácaro contém mais de cem trilhões de átomos.

Os ácaros são pequenos demais para que possamos vê-los, mas as células de que são feitos são ainda menores. As bactérias que vivem em números imensos dentro deles — e dentro de nós — são menores ainda que isso.

E os átomos são muito, muito menores até que as bactérias. O mundo todo é feito de coisas incrivelmente minúsculas, que não podemos ver a olho nu. E no entanto nenhum dos mitos e nenhum dos ditos livros sagrados — livros que alguns povos, ainda hoje, pensam que nos foram dados por um deus que tudo sabe —, nenhum, repito, faz menção sobre tais coisas pequeninas! Aliás, se você analisar esses mitos e histórias, verá que eles não contêm coisa alguma dos conhecimentos que a ciência pacientemente desvendou. Não dizem qual é o tamanho e a idade do uni-

verso, nem como tratar o câncer, não explicam a gravidade ou o motor de combustão interna; não falam sobre os germes, a fusão nuclear, a eletricidade ou os anestésicos. De fato, como seria mesmo de esperar, as histórias dos livros sagrados não contêm mais informações sobre o mundo do que aquelas que os povos primitivos contaram primeiro! Se esses "livros sagrados" fossem realmente escritos, ditados ou inspirados por deuses que tudo sabem, você não acha estranho que eles não digam nada a respeito de coisas tão importantes e úteis como essas?

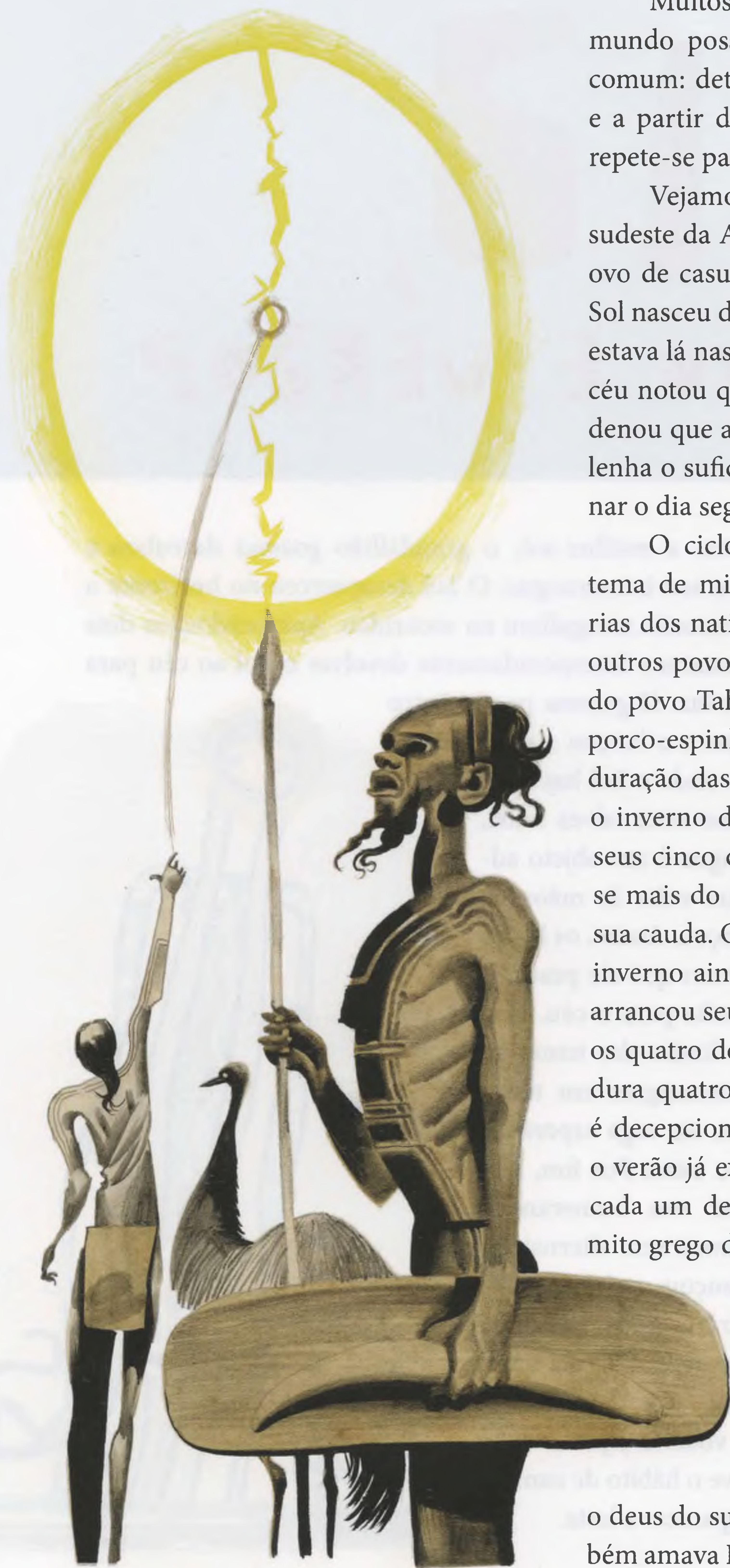
5 Por que temos noite

NOSSA VIDA é regida por dois ritmos fundamentais, um muito mais lento que o outro. O mais rápido é a alternância entre escuridão e claridade, que se repete a cada 24 horas, e o mais lento é a alternância entre inverno e verão, que se repete em períodos de pouco mais de 365 dias. Não é de surpreender que esses ritmos tenham inspirado mitos. O ciclo noite-dia é especialmente rico em histórias, dado o efeito dramático que o Sol produz quando parece se mover de leste para oeste. Vários povos viam o astro como uma carruagem dourada conduzida por um deus pelo firmamento.

Os povos aborígines da Austrália, que viveram isolados nessa ilha continental por no mínimo 40 mil anos, têm alguns dos mitos mais antigos do mundo. A maioria se passa em uma época chamada de Tempo do Sonho, quando o mundo começava e era povoado por bichos e por uma raça de ancestrais gigantes. As diversas tribos aborígines possuem mitos diversos sobre esse tempo. O que contarei primeiro é de um povo que vive nas montanhas Flinders, no sul do país.

No Tempo do Sonho, havia dois lagartos amigos: um *goanna* (nome australiano do grande lagarto-monitor) e um *gecko* (uma simpática lagartixa com ventosas nas patas, capaz de subir em superfícies verticais). Os dois descobriram que alguns de seus amigos haviam sido massacrados pela mulher-sol e sua matilha de dingos (cachorros-do-mato) amarelos.

E dia, inverno e verão?

Furioso com a mulher-sol, o grandalhão *goanna* derrubou-a do céu com seu bumerangue. O Sol desapareceu no horizonte a oeste, e o mundo mergulhou na escuridão. Apavorados, os dois lagartos tentaram desesperadamente devolver o Sol ao céu para restaurar a luz. O *goanna* pegou outro bumerangue e o lançou a oeste, na direção de onde o Sol havia sumido. Como você talvez saiba, o bumerangue é um objeto admirável que volta às mãos de quem o lançou. Assim, os lagartos esperavam que ele pescasse o Sol de volta para o céu. Não deu certo. Então eles tentaram lançar bumerangues em todas as direções, na vaga esperança de reaver o astro. Por fim, restou apenas um bumerangue para o *goanna*; sem alternativa, o animal lançou-o a leste, na direção contrária àquela por onde o Sol desaparecera. Desta vez o bumerangue retornou trazendo o astro de volta. E a partir daí o Sol manteve o hábito de sumir a oeste e reaparecer a leste.

Muitos mitos e lendas das várias partes do mundo possuem uma estranha característica em comum: determinado incidente acontece uma vez e a partir de então, por razões nunca explicadas, repete-se para sempre.

Vejamos outro mito aborígine, desta vez do sudeste da Austrália. Alguém jogou para o céu um ovo de casuar (uma ave pernalta da Austrália). O Sol nasceu dele e incendiou uma pilha de lenha que estava lá nas alturas (sabe-se lá por quê). O deus do céu notou que a luz era útil para os homens, e ordenou que a partir de então seus criados pusessem lenha o suficiente ali no céu toda noite para iluminar o dia seguinte.

O ciclo mais longo das estações também é tema de mitos em todo o mundo. Muitas histórias dos nativos norte-americanos, assim como de outros povos, têm personagens animais. Um mito do povo Tahltan, do oeste canadense, diz que um porco-espinho e um castor discutiram por causa da duração das estações. O porco-espinho queria que o inverno durasse cinco meses, por isso mostrou seus cinco dedos. Mas o castor queria que durasse mais do que isso — o número de ranhuras em sua cauda. O porco-espinho zangou-se e exigiu um inverno ainda mais curto. De maneira dramática, arrancou seu polegar com uma mordida e mostrou os quatro dedos restantes. Desde então, o inverno dura quatro meses. Na minha opinião, esse mito é decepcionante, pois pressupõe que o inverno e o verão já existem e explica apenas quantos meses cada um deve durar. Pelo menos nesse aspecto, o mito grego de Perséfone é melhor.

Perséfone era filha de Zeus, o deus supremo. Sua mãe, Deméter, era a deusa da fertilidade da Terra e das colheitas. Perséfone era muito amada por sua mãe e a ajudava a cuidar da agricultura. Mas Hades, o deus do submundo (a morada dos mortos), também amava Perséfone. Um dia, quando ela brincava

em um prado florido, uma grande fenda se abriu e Hades emergiu de lá em sua carruagem. Ele se apossou de Perséfone, levou-a para as profundezas e a fez rainha de seu escuro reino subterrâneo. Deméter sentiu tanto a perda de sua filha querida que fez as plantas pararem de crescer, de modo que a fome se abateu sobre o povo. Então, Zeus decidiu enviar ao submundo o mensageiro dos deuses, Hermes, para levar Perséfone de volta à terra dos vivos e da luz. Infelizmente, a moça havia comido seis sementes de romã enquanto estivera no submundo, e isso significava (pelo tipo de lógica a que já estamos acostumados quando se trata de mitos) que ela tinha de voltar ao submundo por seis meses ao ano (um para cada semente de romã). Assim, a filha de Deméter vive na superfície durante parte do ano, da primavera ao fim do verão. Nesse período, as plantas florescem e a alegria impera. Mas no inverno ela tem de voltar para Hades, só porque comeu aquelas benditas sementes de romã, e então a terra se torna fria e estéril, fazendo com que nada cresça.

O que realmente transforma dia em noite, inverno em verão?

SEMPRE que as coisas mudam com cadência e precisão, os cientistas desconfiam de que algo está oscilando como um pêndulo ou está em rotação. Os ritmos dos dias e das estações encaixam-se no segundo caso, a rotação. O ritmo das estações se deve ao fato de a Terra orbitar anualmente o Sol a uma distância aproximada de 149 milhões de quilômetros. Já o ritmo diário é consequência de a Terra girar sem parar, como um pião.

A ilusão de que o Sol se desloca pelo céu é apenas isto: uma ilusão. A ilusão do *movimento relativo.* Com certeza você já deparou com coisas desse tipo muitas vezes. Por exemplo, você está em um trem, parado numa estação, ao lado de outro trem. De repente parece que o seu vagão começa a se mover. Mas você então percebe que ele não saiu do lugar. Foi o outro trem que começou a andar, na direção oposta. Eu me lembro de ter ficado perplexo com essa ilusão na primeira vez que andei de trem. (Eu devia ser muito pequeno, pois também me recordo de outra coisa que me confundiu nessa primeira viagem. Enquanto esperávamos na plataforma, meus pais repetiam coisas como "Nosso trem já vai chegar", "Lá vem o nosso trem" e por fim "Nosso trem chegou". Achei o máximo estar a bordo do *nosso* trem. Andava pelo corredor, maravilhado, todo orgulhoso porque pensava que nós éramos os donos de tudo aquilo.)

A ilusão do movimento relativo também funciona no sentido oposto. Você pensa que o outro trem se moveu, mas acaba descobrindo que na verdade foi o seu que andou. Pode ser difícil distinguir movimento aparente e movimento real. É fácil se o seu trem partir com um arranco, evidentemente, mas não se começar com suavidade. Quando seu trem ultrapassa outro ligeiramente mais lento, você pode se enganar achando que o seu está parado e que o outro está andando devagar para trás.

O mesmo ocorre com o Sol e a Terra. O Sol não percorre o céu de leste para oeste. O que acontece é que a Terra gira sem parar, como quase tudo no universo (inclusive o próprio Sol, mas não precisamos falar sobre isso agora). Tecnicamente, dizemos que a Terra gira em torno de seu eixo. Você pode imaginar esse eixo como uma reta atravessando o globo do polo Norte ao polo Sul. O Sol permanece quase parado em relação à Terra (não em relação a outras coisas no universo, mas vou falar apenas do que parece para nós aqui da Terra). Giramos de modo uniforme demais para poder sentir esse movimento, e o ar que respiramos gira conosco. Se isso não ocorresse, sentiríamos uma tremenda ventania, pois giramos a mais de 1600 km/h. Pelo menos essa é a velocidade do giro na altura do equador; obviamente, giramos mais devagar conforme nos aproximamos do polo Norte ou do polo Sul, pois o chão que pisamos tem que se mover menos para completar um circuito ao redor do eixo. Como o ar gira conosco e não podemos sentir o giro do planeta, estamos em um caso igual ao dos trens. O único modo de saber que estamos nos movendo é olhar para objetos que não estão girando conosco, como as estrelas e o Sol. O que vemos é o movimento relativo, e — assim como nos trens — parece que estamos parados e que o Sol e as outras estrelas é que se movem no céu.

Um famoso pensador chamado Wittgenstein (pronuncia-se o W como V) perguntou à sua amiga e pupila Elizabeth Anscombe:

Por que dizem que era natural pensar que o Sol girava em torno da Terra e não que a Terra girava em torno de seu eixo?

A amiga respondeu:

Acho que porque ***parecia*** *que o Sol girava em torno da Terra.*

Ora, Wittgenstein replicou,

então como teria parecido a eles se parecesse que a Terra girava em torno de seu eixo?

Tente responder essa!

Se a Terra gira a 1600 km/h, então por que quando damos um pulo em linha reta para cima não caímos em um lugar diferente? Ora, se você estiver num trem que corre a 160 km/h, ao saltar para cima cairá no mesmo lugar no trem. Você pode se visualizar sendo empurrado para a frente pelo trem no momento em que salta, só que não tem essa sensação porque tudo o mais está se movendo para a frente à mesma velocidade que você. Você pode jogar uma bola para o alto no trem e ela cairá em linha reta na sua mão. Pode jogar tênis de mesa no trem, desde que ele esteja se movendo regularmente, sem acelerar, desacelerar ou fazer curvas rápidas. (Mas só em um vagão fechado. Se você tentar jogar tênis de mesa num vagão aberto, a bola será levada pelo vento. Isso acontece porque o ar viaja com você no vagão fechado, mas não em um vagão aberto.) Quando você viaja a uma velocidade regular em um vagão fechado, por mais rápido que o trem esteja andando, é como se você estivesse parado em relação ao tênis de mesa ou a qualquer outra coisa que está ocorrendo no vagão. Mas se o trem acelerar (ou desacelerar) e nesse momento você der um pulo para cima, cairá em um lugar diferente! E o tênis de mesa jogado em um trem que acelera ou desacelera seria bem estranho, ainda que o ar no interior do vagão não se mova em relação ao vagão. Voltaremos a esse assunto mais à frente, quando falarmos sobre o que acontece quando atiramos coisas em uma estação em órbita no espaço.

Turno de 24 horas e calendário

A noite sucede o dia e o dia sucede a noite conforme a parte do mundo em que estamos fica de frente para o Sol ou para a sombra durante o giro do planeta. Mas quase tão marcante, pelo menos para quem vive longe do equador, é a mudança sazonal de noites curtas e dias longos e quentes no verão para noites longas e dias curtos e frios no inverno.

A diferença entre noite e dia é drástica. O contraste é tamanho que a maioria das espécies de animais vive em plena atividade ou de dia ou de noite, mas não em ambos os períodos. Geralmente os animais dormem no período de inatividade. Os humanos e a maioria das aves dormem à noite e cuidam da vida durante o dia. O porco-espinho, a onça-pintada e muitos outros animais trabalham de noite e dormem de dia.

Da mesma forma, os animais têm modos diferentes de lidar com as mudanças entre inverno e verão. Muitos mamíferos adquirem uma pelagem grossa e densa no inverno e a perdem no verão. Muitas aves e alguns mamíferos migram, às vezes por longas distâncias, para passar o inverno mais perto do equador, depois retornam às latitudes mais altas (mais ao norte ou mais ao sul) para o verão, onde os dias longos e noites curtas significam alimento farto. A andorinha-do-mar ártica, uma ave marinha, é um exemplo extremo. Ela passa o verão no hemisfério norte, no Ártico. Quando chega o outono, migra para o sul, mas, em vez de parar

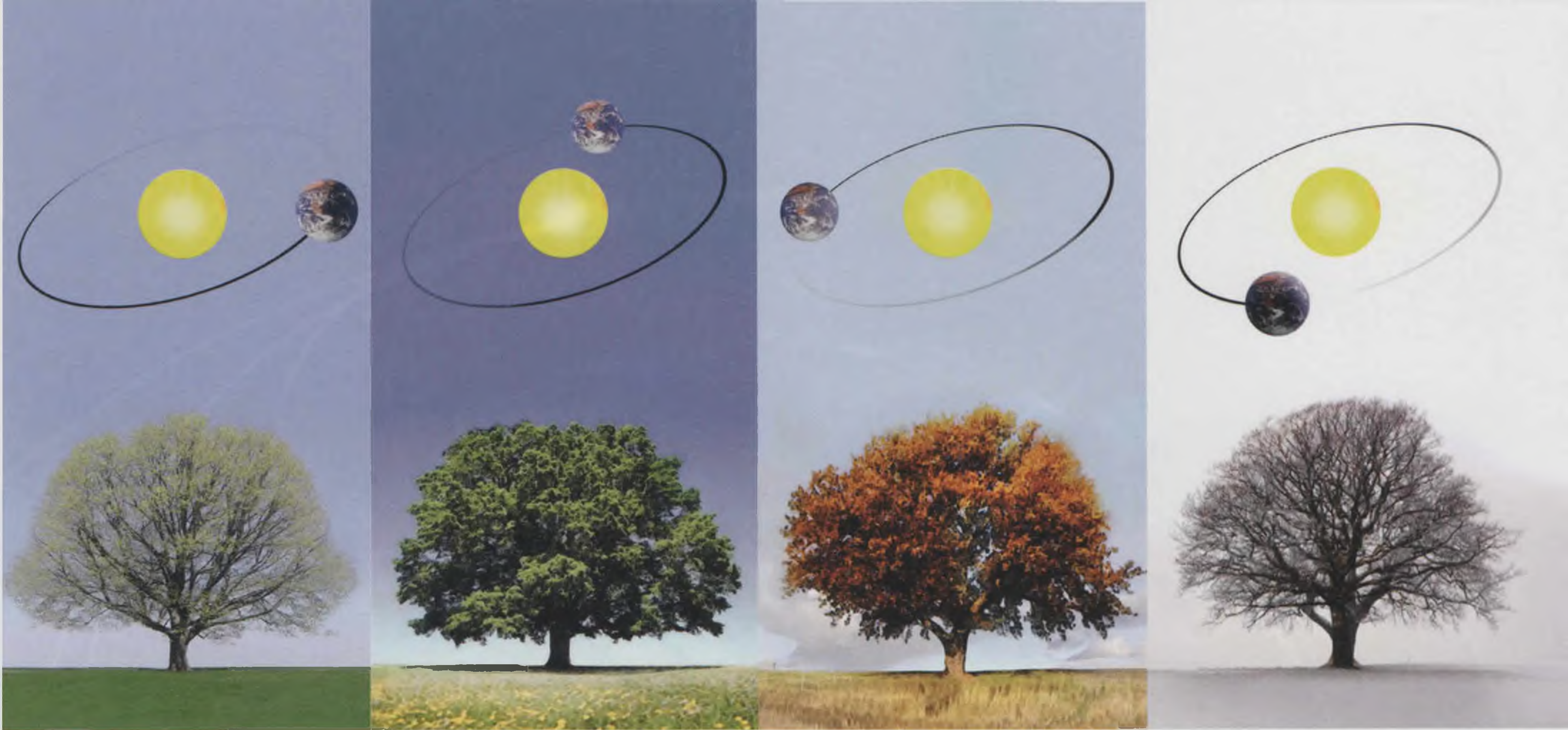
nos trópicos, prossegue viagem até a Antártida. Alguns livros dizem que a Antártida é o "invernadouro" da andorinha-do-mar ártica, mas é uma inexatidão: quando a ave chega à Antártida, é verão no hemisfério sul. Ela migra por uma distância tão longa que aproveita dois verões; não tem "invernadouro" porque não se expõe ao inverno. Isso me lembra de um amigo que vivia na Inglaterra durante o verão e depois viajava para a África tropical a fim de, como ele dizia gracejando, "enfrentar o inverno".

Outros animais evitam o frio dormindo o inverno inteiro. Chamamos isso de "hibernação", do latim *hibernus,* que significa "invernar". Ursos e esquilos estão entre os muitos animais que hibernam. Alguns dormem continuamente o inverno todo; outros dormem a maior parte do tempo, despertam de vez em quando para alguma atividade morosa, depois voltam a dormir. Em geral sua temperatura corporal cai muito durante a hibernação, e tudo no interior de seu corpo desacelera até quase parar: seus motores internos quase não trabalham. Existe até uma rã no Alasca que se mantém congelada dentro de um sólido bloco de gelo; na primavera, ela se descongela e volta à vida.

Mesmo aqueles animais que, como nós, não hibernam nem migram para evitar o inverno precisam se adaptar às mudanças das estações. As folhas brotam na primavera e caem no outono, por isso as árvores, viçosas no verão, ficam secas e murchas no inverno. Os carneiros nascem na primavera e se beneficiam das temperaturas amenas e da grama nova durante seu crescimento. Nós não ganhamos pelagem longa ou lã durante o inverno, mas usamos casacos que os imitam.

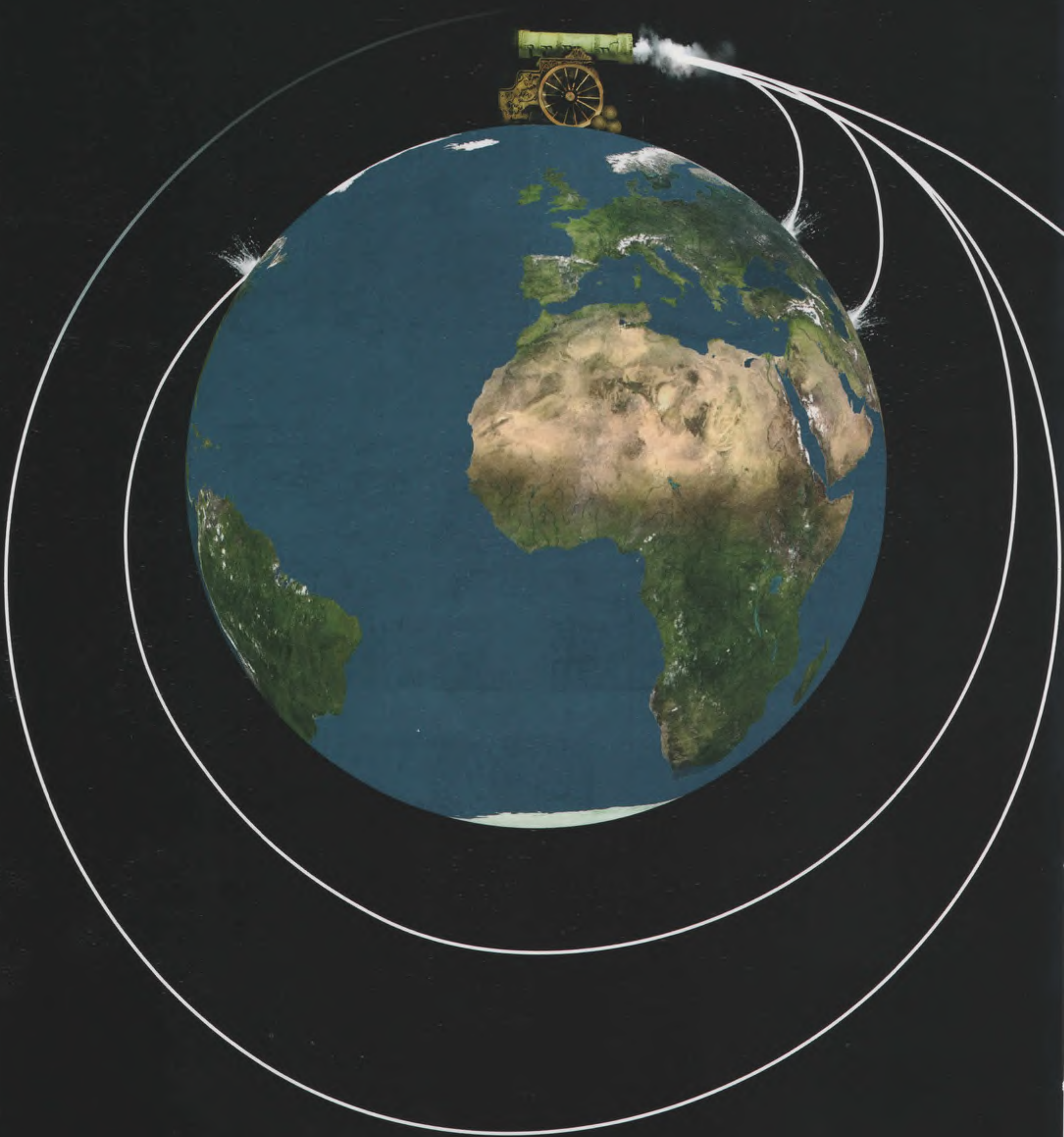
Portanto, não podemos deixar de notar as mudanças de estação, mas será que as compreendemos? Muita gente não. Existem até pessoas que não entendem que a Terra leva um ano para orbitar o Sol — e é isso que significa "ano"! Segundo uma pesquisa, 19% dos ingleses pensam que nosso percurso ao redor do Sol leva um mês, e em outros países europeus foram encontradas porcentagens semelhantes.

Mesmo entre os que entendem o que significa um ano, muitos pensam que a Terra fica mais próxi-

ma do Sol no verão e mais distante no inverno. Vá dizer isso a um inglês que em pleno mês de julho está de bermuda e camiseta tomando limonada debaixo de um guarda-sol! Quando lembramos que no hemisfério norte é verão em julho e inverno em dezembro, percebemos que as estações não podem ser causadas por mudanças na distância da Terra ao Sol. Tem que haver outra explicação.

Não conseguiremos avançar muito sem antes entender o que faz corpos celestes orbitarem outros corpos celestes. Vejamos o que acontece.

Em órbita

Por que os planetas se mantêm em órbita ao redor do Sol? Por que uma coisa orbita outra? A resposta veio no século XVII e foi dada por Isaac Newton, um dos maiores cientistas de todos os tempos. Ele demonstrou que todas as órbitas são controladas pela gravidade — a mesma força que atrai para o chão uma maçã que se desprende da árvore, só que em maior escala. (Sinto dizer que aquela história de que ele teve sua famosa ideia quando uma maçã despencou em sua cabeça provavelmente não é verdadeira.)

Newton imaginou um canhão no topo de uma montanha muito alta, apontando horizontalmente para o mar (a montanha fica na costa). Cada bala disparada parece começar um movimento na horizontal, mas ao mesmo tempo cai na direção do mar. A combinação do movimento para a frente acima do mar e para baixo em direção à água resulta em uma graciosa curva descendente que culmina num mergulho. É importante entender que a bala cai o tempo todo, mesmo na parte inicial da curva, quando a trajetória é mais plana. Ela não se desloca horizontalmente por algum tempo e de repente muda de ideia, como um personagem de desenho animado que percebe que deveria estar caindo e só então despenca!

A bala começa a cair no momento em que sai do canhão, mas demoramos para perceber a queda porque ela também se move (quase) horizontalmente, e muito rápido.

Agora imaginemos que nosso canhão é maior e mais potente; ele impele a bala por muitos quilômetros antes que ela finalmente mergulhe no mar. Ainda existe uma curva descendente, mas ela é muito gradual, muito "plana". A direção da trajetória da bala é bem semelhante à horizontal por boa parte do caminho, mas ainda assim o projétil está em queda o tempo todo.

Continuemos a imaginar um canhão cada vez maior e mais potente, até que a bala percorra uma distância imensa antes de cair no mar. A curvatura da Terra começa a se fazer sentir. A bala ainda "cai" o tempo todo, mas, como a superfície do planeta é curva, o significado de "horizontal" começa a parecer um pouco esquisito. Como antes, a bala descreve uma graciosa curva. Porém, conforme ela faz essa curva lentamente em direção ao mar, o mar se curva para longe dela, pois o planeta é redondo. Por isso, demora ainda mais para que a bala finalmente mergulhe na água. Ela cai o tempo todo, mas cai *rodeando* o planeta.

Você já pode ter percebido aonde quero chegar com esse argumento. Imaginemos agora um canhão tão potente que a bala continua a viajar ao redor da Terra até chegar ao ponto de onde partiu. Ela continua a "cair", mas a curva dessa queda é equiparada pela curvatura da Terra, por isso a bala contorna o planeta todo sem ficar mais próxima do mar. Agora ela está em órbita e continuará orbitando a Terra por tempo indeterminado, supondo que não haja resistência do ar para desacelerá-la (na vida real haveria). A bala continuará "caindo", mas a graciosa curva de sua prolongada queda contornará a Terra toda, inúmeras vezes. Ela se comportará exatamente como uma lua em miniatura. De fato, é isso que são os satélites: luas artificiais. Estão todos "caindo", mas nunca chegam ao chão. Os que são usados para transmitir chamadas telefônicas de longa distância ou sinais de televisão estão em uma órbita especial denominada geoestacionária. Isso significa que a velocidade em que eles contornam a Terra foi engenhosamente calculada para ser idêntica à velocidade em que a Terra gira em torno de seu próprio eixo. Ou seja, esses satélites completam um giro ao redor da Terra a cada 24 horas. Isso significa — pense um pouco — que eles pairam sempre acima do mesmo lugar na superfície do planeta. É por isso que você consegue direcionar sua antena parabólica precisamente para o satélite que está transmitindo para a Terra o sinal de televisão.

Quando um objeto como uma estação espacial, por exemplo, está em órbita, ele está "caindo" o tempo todo, e todos os objetos na estação espacial, não importa se pensamos neles como leves ou pesados, estão caindo à mesma velocidade. Este é um bom momento para parar e explicar a diferença entre massa e peso, como prometi fazer no capítulo anterior.

Numa estação espacial em órbita, nenhum objeto tem peso, mas todos têm massa. A massa dos objetos, como vimos no capítulo anterior, depende do número de prótons e nêutrons que eles contêm. O peso é a força da gravidade atuando sobre a massa do corpo. Na Terra podemos usar o peso para medir a massa porque a atração da gravidade é (mais ou menos) a mesma em todas as partes. Mas, como os planetas maiores têm gravidade mais forte, meu peso varia de acordo com o planeta em que me encontro, ao passo que minha massa permanece igual onde quer que eu esteja — mesmo se estiver completamente sem peso numa estação em órbita no espaço. Você não teria peso na estação espacial, porque tanto seu corpo como a balança estariam "caindo" à mesma velocidade (na chamada "queda livre"); por isso seus pés não

exerceriam pressão sobre a balança, que não registraria peso algum.

Porém, mesmo sem peso, você teria massa. Se pulasse vigorosamente para longe do "chão" da estação espacial, você dispararia na direção do "teto" (não seria fácil dizer o que é chão e o que é teto!) e, não importa quão longe o teto estivesse, bateria a cabeça nele e sentiria dor, exatamente como se tivesse caído de ponta-cabeça. E tudo o mais na estação espacial também teria massa. Se houvesse uma bala de canhão com você na cabine, ela fluturaria sem peso, e você a acharia parecida com uma bola de praia do mesmo tamanho. Mas, se tentasse jogá-la para o outro lado da cabine, logo perceberia que ela não é como uma bola de praia. Seria muito difícil lançar essa bala, e você poderia acabar sendo jogado para trás no sentido oposto. A bala de canhão daria a sensação de ser pesada, embora não mostrasse nenhuma tendência especial a "cair" em direção ao chão da estação espacial. Caso você conseguisse atirá-la para o outro lado da sala, ela se comportaria como qualquer objeto pesado quando atinge alguma coisa em seu caminho, e não seria nada bom se batesse na cabeça de um companheiro astronauta, diretamente ou depois de ricochetear na parede. Se ela atingisse outra bala de canhão, as duas ricocheteariam e dariam a devida impressão de um choque entre coisas "pesadas" — ao contrário de duas bolas de tênis de mesa, que também ricocheteariam, mas pareceriam leves. Espero que isso dê uma ideia da diferença entre o significado de peso e massa. Na estação espacial, uma bala de canhão tem muito mais massa do que um balão de gás, embora ambos tenham o mesmo peso — zero.

Ovos, elipses e escape da gravidade

Voltemos ao canhão no topo da montanha e imaginemos que é ainda mais potente. O que acontecerá? Bem, agora precisamos mencionar a descoberta do grande cientista alemão Johannes Kepler, que viveu pouco antes de Newton. Kepler demonstrou que a curva descrita pelas coisas que orbitam outras coisas no espaço não é realmente um círculo, mas algo que os matemáticos já conheciam como "elipse" desde os tempos da Grécia Antiga. Uma elipse é mais ou menos ovalada (um ovo não é uma elipse perfeita). O círculo é um caso especial de elipse: pense num ovo muito arredondado, tão curto e grosso que parece uma bola de tênis de mesa.

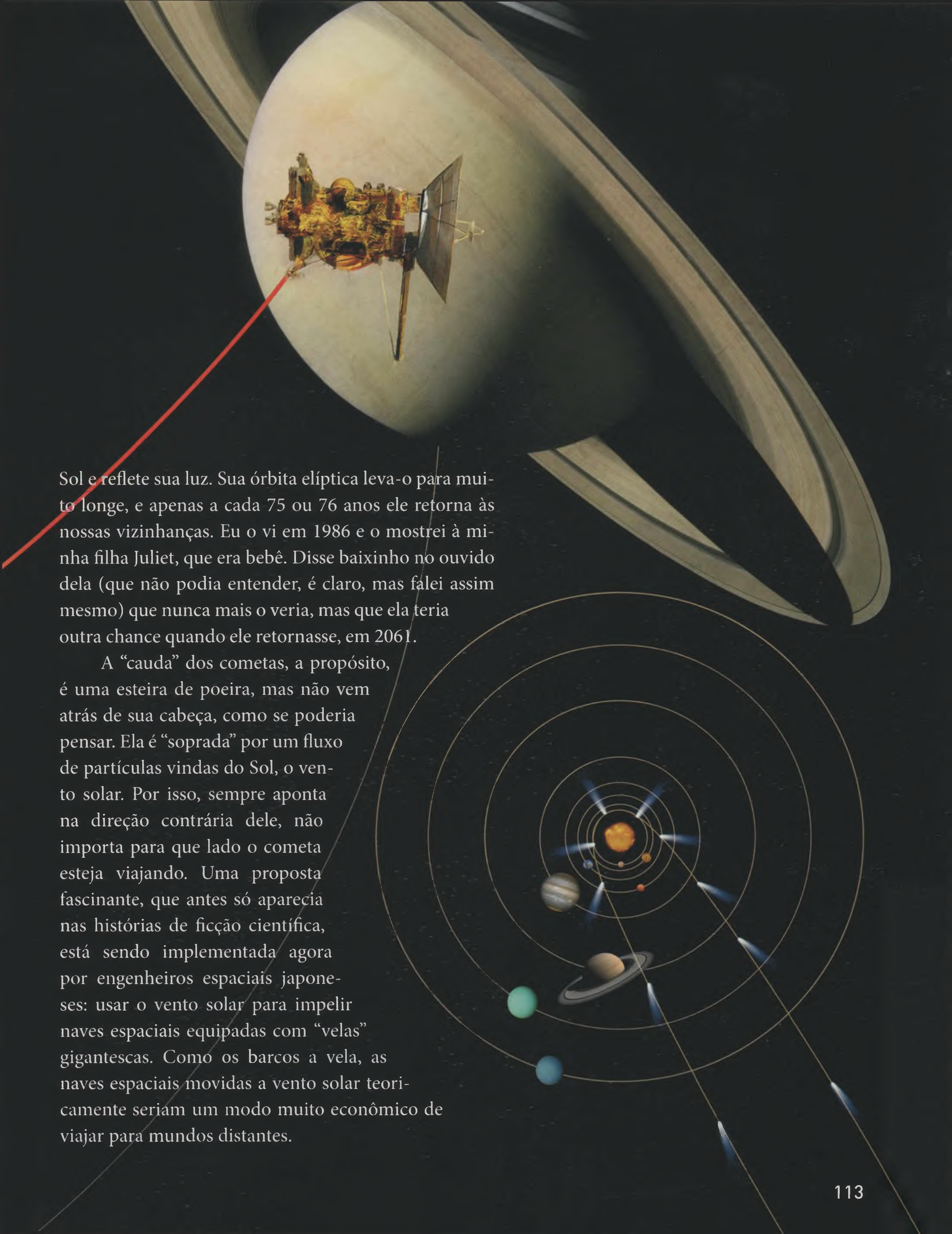
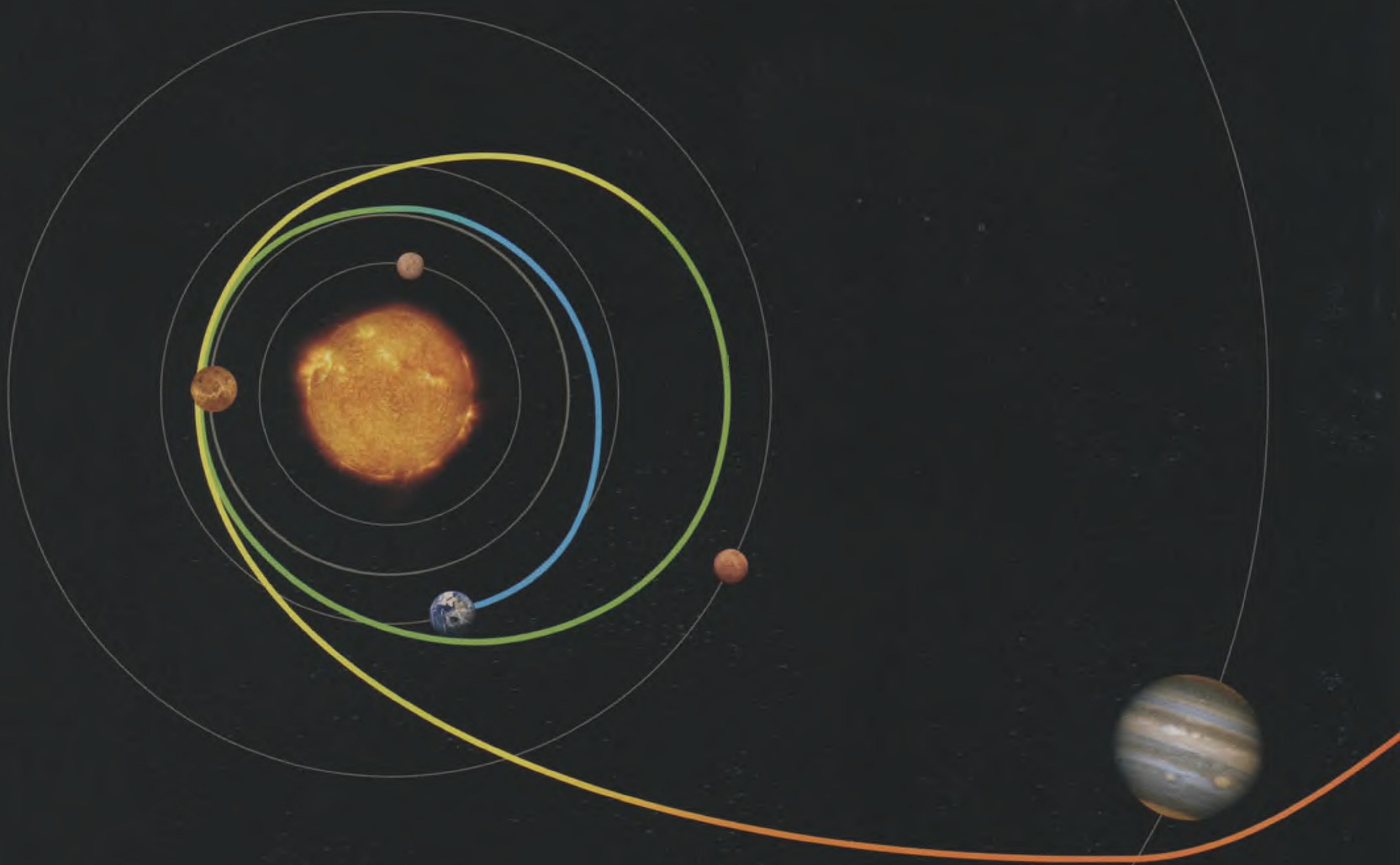
Há um modo fácil de desenhar uma elipse e ao mesmo tempo se convencer de que o círculo é um caso especial dessa figura. Pegue um pedaço de barbante e amarre suas pontas fazendo um laço. O nó deve ficar bem apertado e pequeno. Agora espete um alfinete num bloco de papel, passe o barbante em volta do alfinete, introduza um lápis na outra ponta do laço, puxe bem e trace em volta do alfinete com o laço de barbante totalmente esticado. Você desenhará um círculo, é claro.

Em seguida, pegue um segundo alfinete e espete no bloco, bem ao lado do primeiro, de modo que os dois se toquem. Você ainda desenhará um círculo, pois os dois estão tão próximos que é como se fossem um só. Agora vem a parte interessante. Afaste um pouco os alfinetes um do outro. Desta vez, quando você desenha com o barbante totalmente esticado, a forma que aparece não é um círculo, mas uma elipse "ovalada". Quanto mais você separar os alfinetes, mas estreita será a elipse. Quanto mais próximos eles ficarem, mais larga — e mais circular — será ela. Quando os dois alfinetes se tornarem um só, a elipse será um círculo, o caso especial.

Agora que fomos apresentados à elipse, podemos voltar ao nosso canhão superpoderoso. Ele já disparou uma bala em uma órbita que supusemos ser quase circular. Se agora o tornarmos ainda mais poderoso, a órbita terá o traçado de uma elipse mais "esticada", menos circular. É a chamada órbita excêntrica. Nossa bala de canhão afasta-se da Terra por uma grande distância, depois faz meia-volta e retorna. A Terra é um dos dois "alfinetes". O outro "alfinete" não existe realmente como um objeto sólido, mas você pode pensar nele como um alfinete imaginário postado no espaço. Esse alfinete imaginário ajuda a tornar a matemática compreensível para algumas pessoas, mas, se ele o confundir, pode esquecê-lo. O importante é perceber que a Terra não está no centro do "ovo". A órbita se afasta do nosso planeta muito mais de um lado (o lado do "alfinete imaginário") do que do outro (aquele onde a própria Terra é o "alfinete").

Continuamos a aumentar a potência do nosso canhão. Desta vez, a bala viajará para muito, muito longe da Terra e só por um triz será atraída de volta. A elipse agora é muito alongada e esticada. E por fim chegará um ponto em que deixará de ser uma elipse: disparamos a bala a uma velocidade ainda maior e dessa maneira a velocidade extra a empurra para um ponto de onde não há retorno, onde a gravidade da Terra não pode chamá-la de volta. Ela atingiu a "velocidade de escape" e desaparecerá para sempre (ou pelo menos até ser capturada pela gravidade de outro corpo, como o Sol).

Nosso canhão cada vez mais potente ilustrou todos os estágios até o estabelecimento de uma órbita e além dela. Primeiro, a bala despenca no mar. Depois, conforme disparamos sucessivamente balas com força cada vez maior, a curva que elas descrevem se torna cada vez mais horizontal, até que a bala atinja a velocidade necessária para entrar numa órbita quase circular (lembre-se: um círculo é um caso especial de elipse). E então, quando a velocidade de disparo aumenta ainda mais, a órbita se torna menos circular e mais alongada, mais claramente elíptica. Por fim, a "elipse" torna-se tão alongada que deixa de ser uma elipse: a bala atinge a velocidade de escape e então desaparece.

A órbita da Terra em torno do Sol tecnicamente forma uma elipse, mas ela quase se enquadra no caso especial do círculo. O mesmo vale para todos os outros planetas, exceto Plutão — que hoje em dia nem é mais considerado um planeta. Um cometa, por outro lado, tem uma órbita que lembra um ovo muito alongado e fino. Os "alfinetes" usados para desenhar sua elipse estão muito separados.

Um dos dois "alfinetes" no caso do cometa é o Sol. Mais uma vez, o outro "alfinete" não é um objeto real no espaço: você tem que imaginá-lo. Quando um cometa se encontra em sua distância máxima em relação ao Sol (chamada "afélio"), viaja à sua menor velocidade. Ele está em queda livre o tempo todo, porém em parte do tempo está se distanciando do Sol, e não se aproximando dele. Lentamente, o cometa faz meia-volta no afélio e então cai em direção ao Sol, cada vez mais rápido, até rodear o astro (o outro "alfinete"), e atinge sua velocidade máxima quando se encontra no ponto mais próximo do Sol, o periélio. ("Periélio" e "afélio" derivam do nome do deus do Sol grego, Hélio; *peri* significa "próximo" e *apó* quer dizer "afastamento".) O cometa rodeia o Sol rapidamente no periélio e depois passa a se afastar. Após fazer essa volta próximo do Sol, vai perdendo velocidade à medida que segue em direção ao afélio, onde terá sua menor velocidade. E o ciclo se repete indefinidamente.

Os engenheiros espaciais servem-se do efeito estilingue para economizar combustível em seus foguetes. A sonda espacial Cassini, que foi projetada para visitar o distante planeta Saturno, viajou até lá por uma rota que parece dar voltas em excesso, mas que na verdade foi engenhosamente planejada para explorar o efeito estilingue. Usando muito menos combustível do que teria sido necessário em um voo direto para Saturno, a Cassini aproveitou a gravidade e o movimento orbital de três planetas pelo caminho: Vênus (duas vezes), Terra (dando uma volta ao redor dela) e Júpiter (onde finalmente deu um poderoso arranco). Em todos os casos, a sonda caiu em curva na direção do planeta, como um cometa, e ganhou velocidade mantendo-se no campo gravitacional do planeta conforme ele girava em torno do Sol. Esses quatro impulsos do efeito estilingue impeliram a Cassini em direção ao sistema de anéis e 62 luas de Saturno, de onde ela manda impressionantes fotografias desde então.

A maioria dos planetas, como vimos, orbita o Sol em elipses quase circulares. Plutão é diferente, não só por ser pequeno demais para ser chamado de planeta, mas também porque tem uma órbita notavelmente excêntrica. Boa parte do tempo ele fica fora da órbita de Netuno, mas no periélio Plutão mergulha nela e fica mais próximo do Sol do que o próprio Netuno, que tem órbita quase circular. Mas nem mesmo a órbita de Plutão chega perto de ser tão excêntrica quanto a de um cometa. O mais famoso deles, o cometa Halley, só se torna visível para nós quando está próximo do periélio, porque está mais perto do

Sol e reflete sua luz. Sua órbita elíptica leva-o para muito longe, e apenas a cada 75 ou 76 anos ele retorna às nossas vizinhanças. Eu o vi em 1986 e o mostrei à minha filha Juliet, que era bebê. Disse baixinho no ouvido dela (que não podia entender, é claro, mas falei assim mesmo) que nunca mais o veria, mas que ela teria outra chance quando ele retornasse, em 2061.

A "cauda" dos cometas, a propósito, é uma esteira de poeira, mas não vem atrás de sua cabeça, como se poderia pensar. Ela é "soprada" por um fluxo de partículas vindas do Sol, o vento solar. Por isso, sempre aponta na direção contrária dele, não importa para que lado o cometa esteja viajando. Uma proposta fascinante, que antes só aparecia nas histórias de ficção científica, está sendo implementada agora por engenheiros espaciais japoneses: usar o vento solar para impelir naves espaciais equipadas com "velas" gigantescas. Como os barcos a vela, as naves espaciais movidas a vento solar teoricamente seriam um modo muito econômico de viajar para mundos distantes.

Um olhar oblíquo para o verão

Agora que compreendemos as órbitas, podemos voltar à questão inicial: por que temos inverno e verão? Algumas pessoas, como você deve se lembrar, pensam que é porque ficamos mais perto do Sol no verão e mais longe no inverno. Seria uma boa explicação se a Terra tivesse uma órbita como a de Plutão. Nesse planeta, é justamente essa a causa do inverno e do verão (ambos muitíssimo mais frios que os de qualquer parte da Terra).

A órbita da Terra, porém, é quase circular, portanto a proximidade entre ela e o Sol não pode ser o que causa a mudança de estação. É verdade que nosso planeta fica mais próximo do Sol em janeiro (periélio) e mais distante em julho (afélio), mas sua órbita elíptica é tão semelhante à circular que isso não produz nenhum efeito digno de nota.

Então o que causa as disparidades entre inverno e verão? Algo muito diferente. A Terra gira em torno de um eixo inclinado, o verdadeiro motivo de termos estações. Vejamos como funciona.

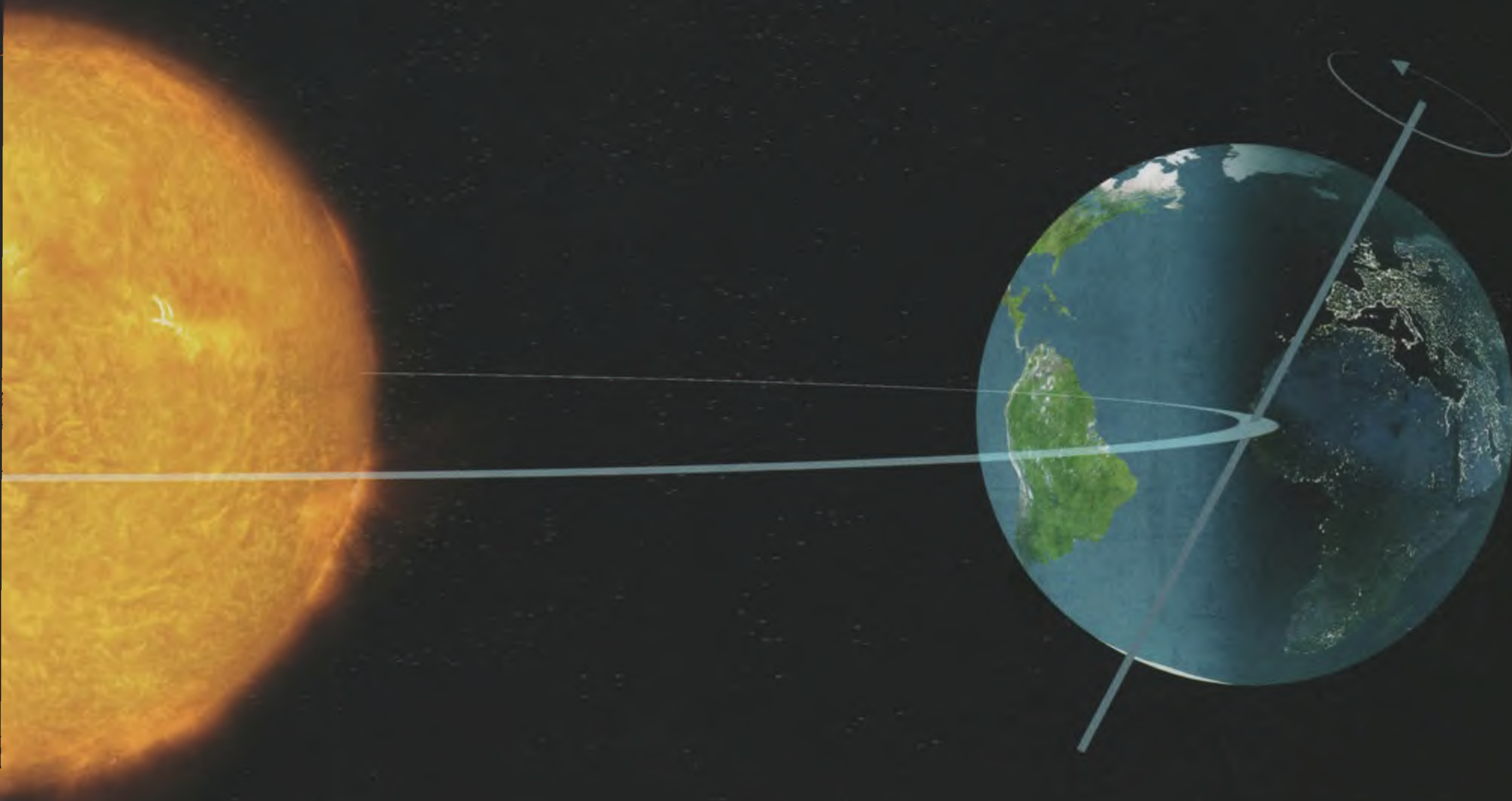
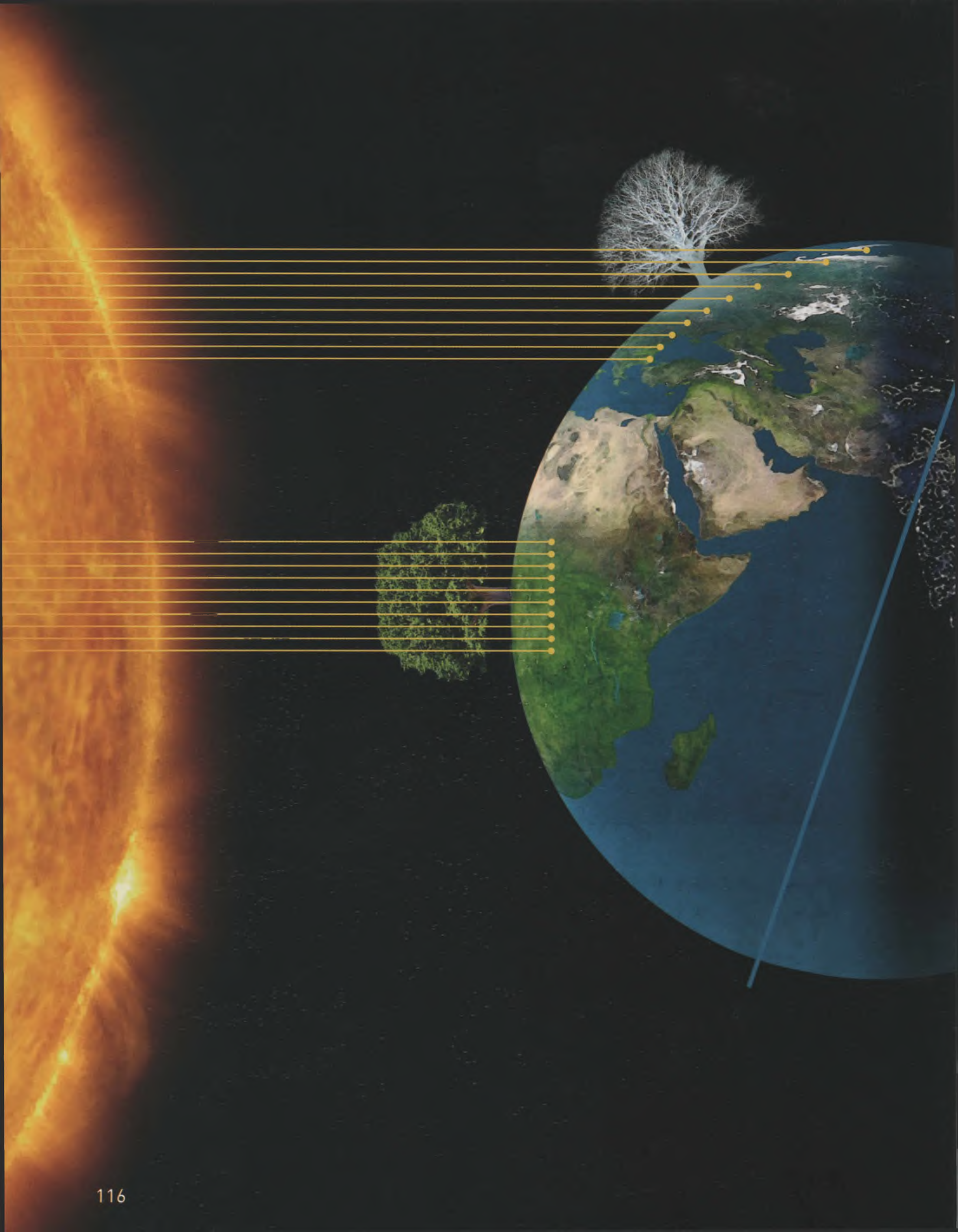
Como apontei, podemos pensar nesse eixo como uma reta fictícia que atravessa o globo terrestre do polo Norte ao polo Sul. Agora pense na órbita da Terra em torno do Sol como uma roda muito maior, com seu próprio eixo, o qual atravessa o Sol desde seu "polo Norte" até seu "polo Sul". Esses dois eixos poderiam ser paralelos, e a Terra não teria uma "inclinação" — o sol do meio-dia sempre estaria bem acima da nossa cabeça no equador, e o dia e a noite teriam a mesma duração em todas as partes do mundo. Não haveria estações do ano. O equador seria sempre quente, e conforme nos afastássemos dele em direção a qualquer um dos polos o frio iria aumentando. Você sentiria frio afastando-se do equador, não esperando pelo inverno, pois não haveria inverno. Nem verão nem qualquer tipo de estação.

Na verdade, porém, os dois eixos não são paralelos. O eixo em torno do qual a Terra faz sua rotação é inclinado em relação ao eixo em torno do qual a Terra orbita o Sol. Não é uma inclinação particularmente acentuada — tem cerca de 23,5

graus. Se fosse de 90 graus (aproximadamente a inclinação do planeta Urano), o polo Norte apontaria direto para o Sol em um período do ano (que poderíamos chamar de alto verão setentrional) e direto para o lado oposto no alto inverno setentrional. Se a Terra fosse como Urano, no auge do verão o Sol estaria a pino o tempo todo no polo Norte (não haveria noite por lá), enquanto no polo Sul tudo estaria congelado e escuro, e ninguém veria a luz do dia. E vice-versa seis meses depois.

Mas, como nosso planeta é inclinado somente 23,5 graus em vez de 90, estamos a cerca de um quarto do caminho que vai do extremo sem estações, no qual não há inclinação nenhuma, até o extremo da inclinação quase total de Urano. Isso é suficiente para determinar que, como em Urano, o Sol nunca se põe no polo Norte terrestre no auge do verão, e é sempre dia. Porém, diferentemente do que ocorre em Urano, o Sol para nós não está a pino. Ele parece descrever um arco no céu à medida que a Terra faz sua rotação, mas nunca desaparece totalmente no horizonte. Isso acontece em todo o Círculo Ártico. Se você estiver exatamente ali, no extremo norte da Islândia, por exemplo, no dia do solstício de verão, verá que o Sol beira o horizonte sul à meia-noite, mas não se põe. Em seguida descreve um arco e atinge sua posição mais alta (não muito alta) ao meio-dia.

No norte da Escócia, que fica um pouco mais distante do Círculo Ártico, o sol do solstício de verão mergulha no horizonte o suficiente para que haja uma espécie de noite, mas não uma noite muito escura, pois o Sol nunca está muito abaixo da linha do poente.

Portanto, a inclinação do eixo da Terra explica por que temos inverno (quando a parte do planeta em que nos encontramos está inclinada para o lado oposto ao do Sol) e verão (quando está inclinada em direção ao Sol), e por que temos dias mais curtos no inverno e mais longos no verão. Mas isso explica por que faz mais frio no inverno e mais calor no verão? Por que o Sol nos parece mais quente quando está a pino do que quando está baixo, próximo do horizonte? Já que é o mesmo Sol,

não deveria nos parecer igualmente quente seja qual for o ângulo em que o vemos? Não.

Você pode desconsiderar o fato de que ficamos ligeiramente mais próximos do Sol quando inclinados na direção dele. Essa é uma diferença infinitesimal (de uns poucos milhares de quilômetros) em comparação com a distância total até o Sol (cerca de 150 milhões de quilômetros), e ainda insignificante comparada à diferença entre a distância do Sol no periélio e no afélio (aproximadamente 5 milhões de quilômetros). Não, o que faz diferença é, em parte, o ângulo em que os raios incidem sobre nós, e em parte o fato de que os dias são mais longos no verão e mais curtos no inverno. É esse *ângulo* que faz o sol parecer mais quente ao meio-dia do que no fim da tarde, e é esse ângulo que torna mais importante aplicar protetor solar na pele no meio do dia do que no fim da tarde. É uma combinação do ângulo e da duração do dia que faz as plantas crescerem mais no verão do que no inverno, e tudo o mais que decorre disso.

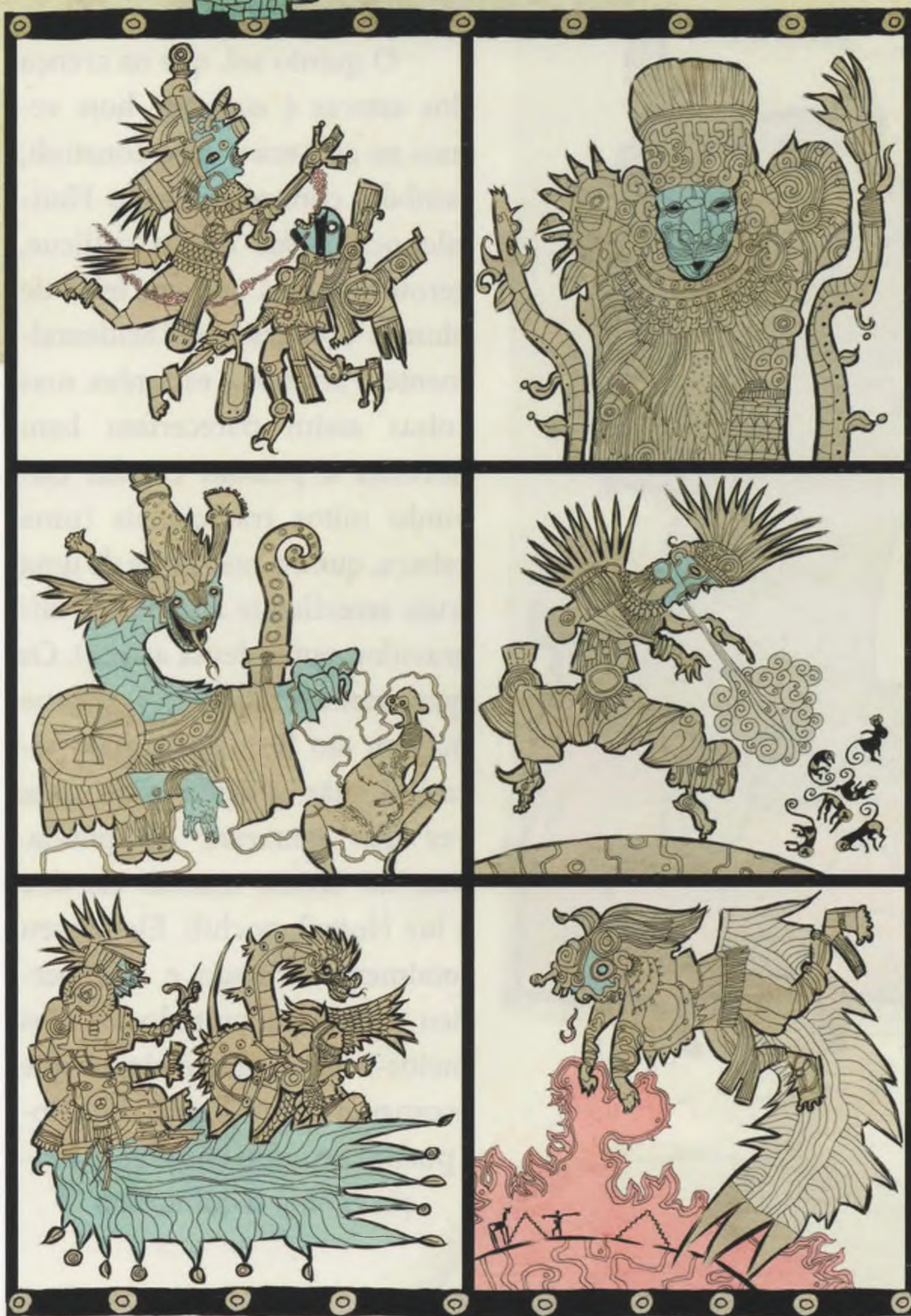
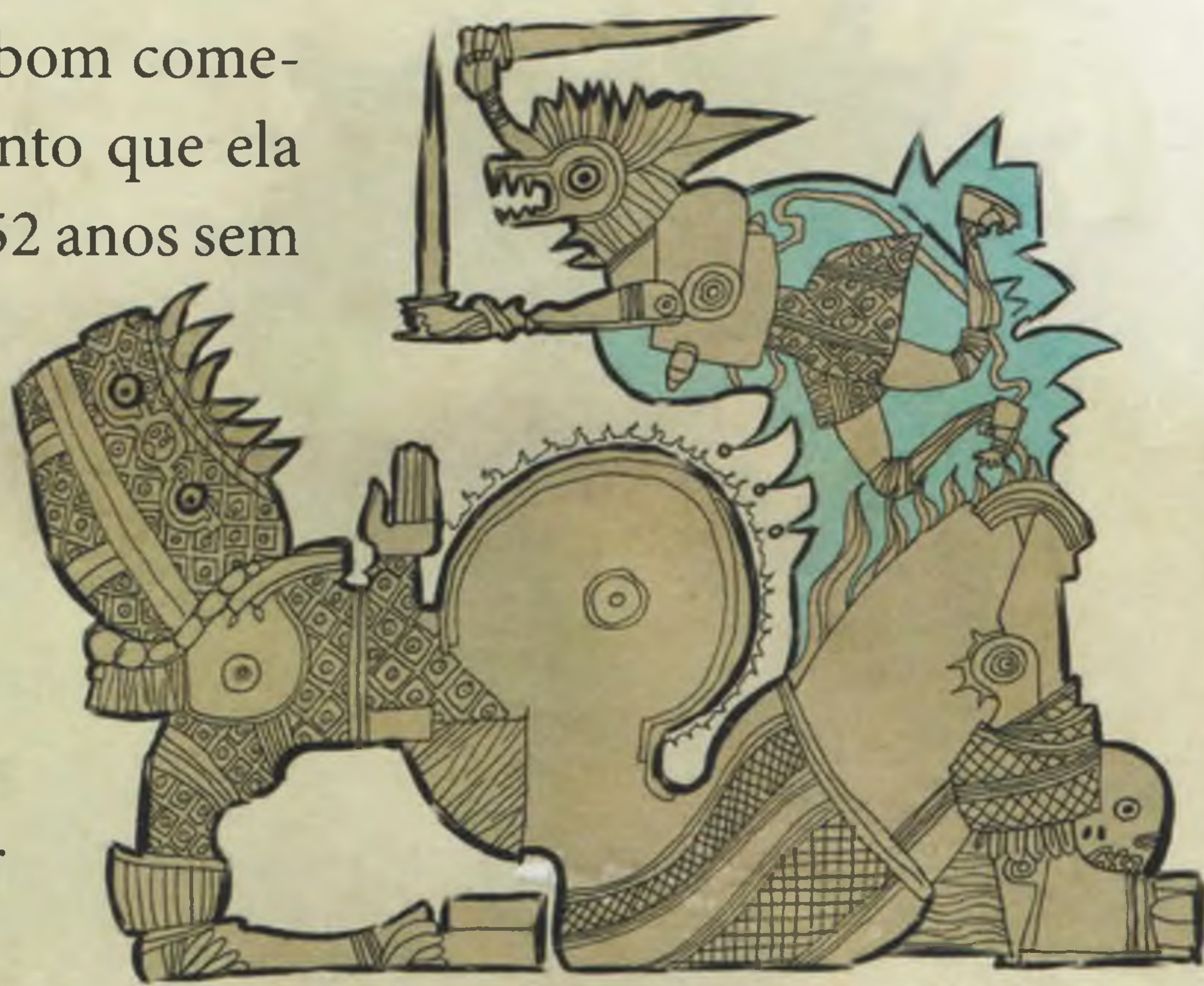
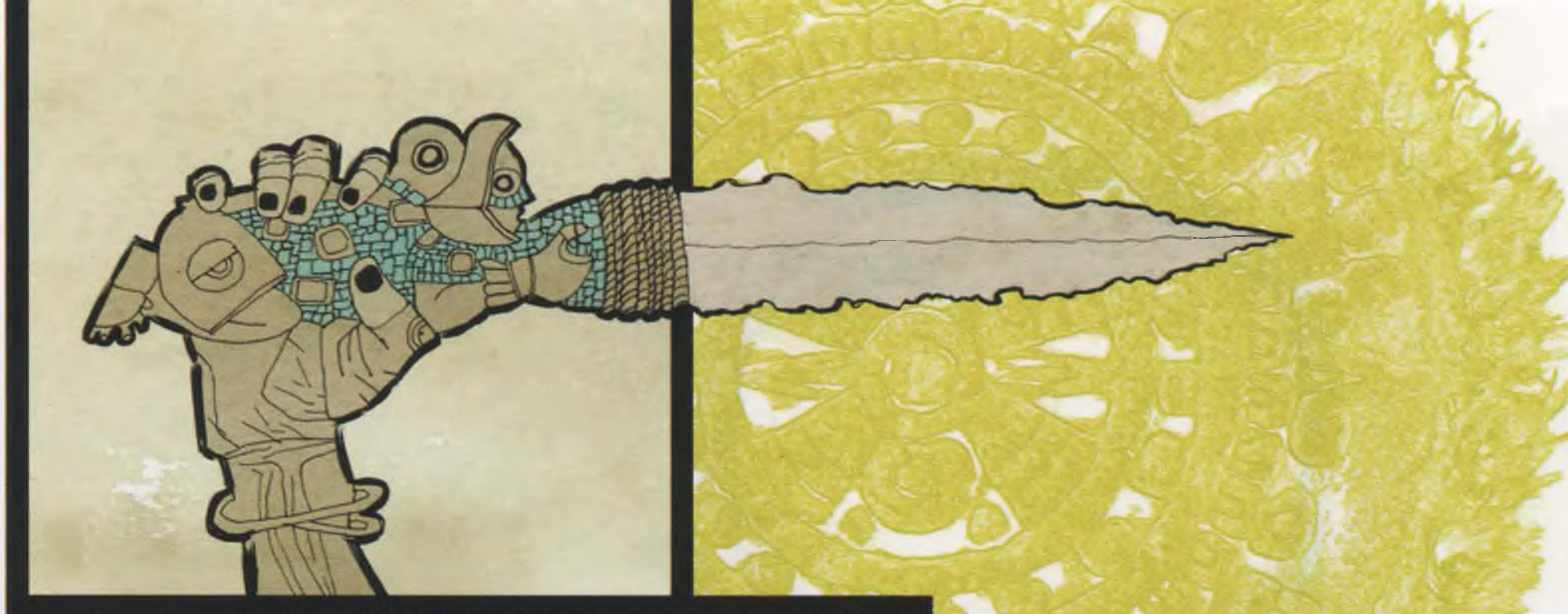
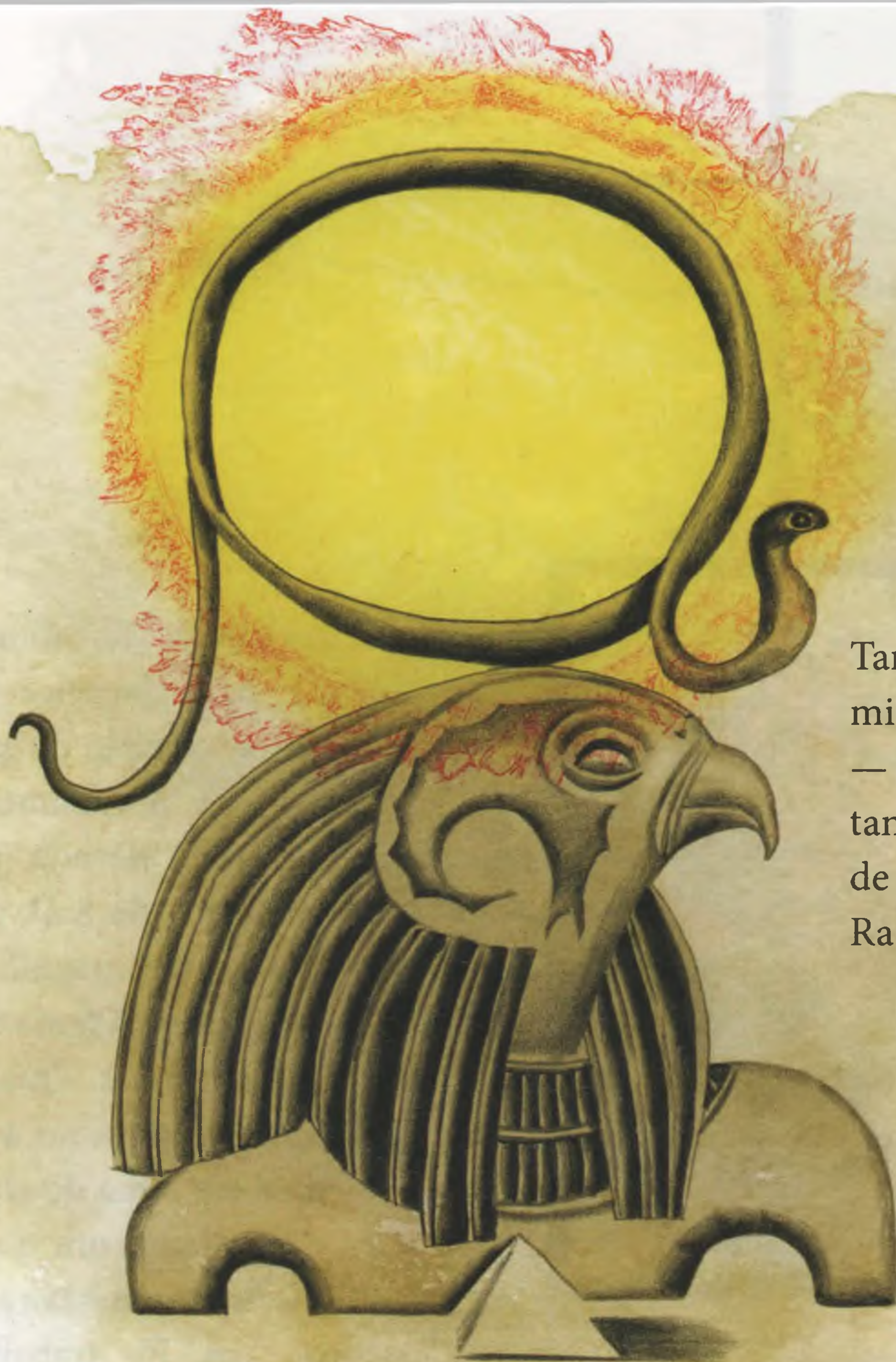
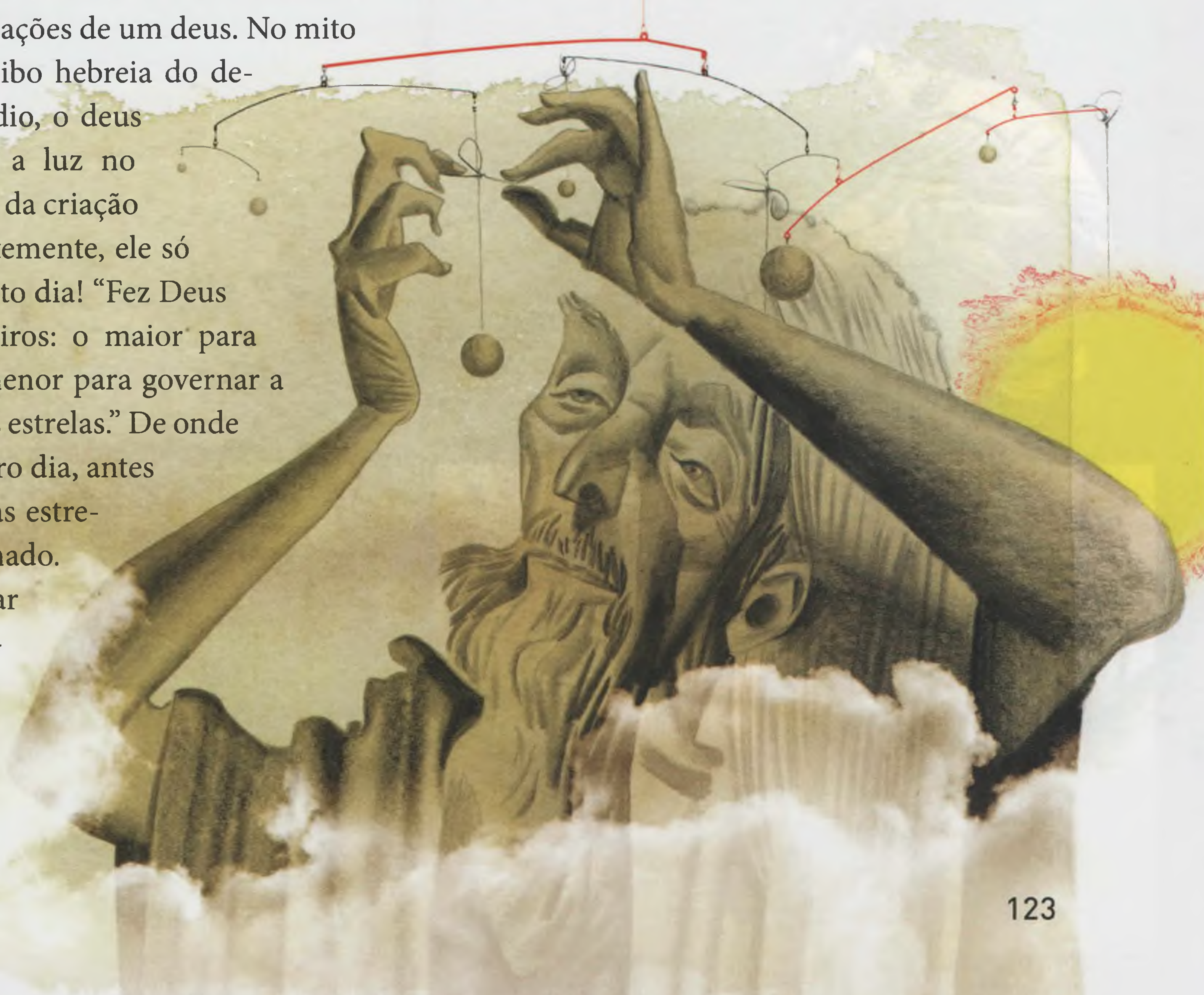
Mas por que esse ângulo faz tanta diferença? Eis um modo de explicar. Imagine que você está tomando banho de sol ao meio-dia no auge do verão, com o Sol a pino. Um determinado centímetro quadrado de pele no meio das suas costas está sendo atingido por fótons (minúsculas partículas de luz) a uma intensidade que você pode medir com um fotômetro. Mas quando você toma banho de sol ao meio-dia no inverno, o Sol está relativamente baixo no céu devido à inclinação da Terra, e a luz chega até nós a um ângulo mais agudo, mais "oblíquo"; por isso, um dado número de fótons é "distribuído" por uma área de pele maior. Isso significa que aquele centímetro quadrado de pele recebe uma parcela menor dos fótons disponíveis do que recebia no auge do verão. O que vale para a sua pele vale também para s folhas das plantas, e isso é muito importante, pois elas usam a luz solar para produzir seu alimento.

Noite e dia, inverno e verão: são esses os grandes ritmos alternados que regem nossa vida e a de todos os seres, exceto talvez aqueles que vivem nas profundezas escuras e frias do mar. Outros ritmos que para nós não são tão fundamentais mas são essenciais para outras criaturas, como as que vivem nas costas marítimas, são os impostos pela Lua que orbita nosso planeta, que se fazem sentir principalmente através das marés. Os ciclos lunares também são tema de mitos antigos e sinistros — lobisomens e vampiros, por exemplo. Mas com relutância tenho de deixar esse assunto agora para falar sobre o Sol.

6 O QUE É O SOL?

O SOL brilha de maneira deslumbrante. É um consolo nos climas frios, mas pode ser abrasador e impiedoso nas regiões quentes. Não admira que tantos povos o adorem como se fosse um deus. O culto ao Sol costuma vir junto com o culto à Lua, frequentemente atribuindo sexos opostos a esses dois astros. A tribo tiv, da Nigéria e de outras partes da África ocidental, acredita que o Sol e a Lua são filhos de seu deus supremo, Awondo. A tribo barotse, do sudeste africano, acha que o Sol é marido da Lua, e não seu irmão. Muitos mitos tratam o Sol como masculino e a Lua como feminina, mas em alguns casos é o contrário. No xintoísmo, religião japonesa, o Sol é a deusa Amaterasu, e a Lua é seu irmão Ogetsuno.

As grandes civilizações que floresceram na América Central e do Sul antes da chegada dos espanhóis ao continente no século XVI adoravam o Sol. Os incas dos Andes acreditavam que o Sol e a Lua eram seus ancestrais. Os astecas do México tinham muitos deuses em comum com civilizações mais antigas da região, como os maias. Vários desses deuses estavam ligados ao Sol, ou em alguns casos eram o próprio astro. Segundo o mito asteca dos cinco sóis, existiram quatro mundos antes do atual, cada qual com seu sol. Esses quatro mundos anteriores desapareceram, um após o outro, destruídos por catástrofes forjadas pelos deuses. O primeiro sol era o deus chamado Tezcatlipoca Negro. Ele lutou com seu irmão, Quetzalcoatl, que o derrubou do céu com sua clava. Depois de um negro período sem sol, Quetzalcoatl tornou-se o segundo sol. Colérico, Tezcatlipoca transformou todas as pessoas em macacos, mas Quetzalcoatl simplesmente soprou todos os macacos para longe e reinou como o segundo sol.

O deus Tlaloc tornou-se o terceiro sol. Irritado porque Tezcatlipoca roubou sua esposa, Xochiquetzal, ele se recusou a mandar chuvas de birra, ocasionando uma terrível seca por toda parte. O povo implorou e implorou por chuva, e Tlaloc ficou tão farto das súplicas que enviou uma chuva de fogo. O incêndio consumiu totalmente o mundo, e os deuses tiveram de começar tudo de novo.

O quarto sol foi a nova esposa de Tlaloc, Chalchiuhtlicue. Após um bom começo, Tezcatlipoca a aborreceu tanto que ela chorou lágrimas de sangue por 52 anos sem parar. O mundo foi totalmente inundado, e os deuses tiveram que recomeçar do zero. Não é curiosa a exatidão com que os mitos especificam meros detalhes? Como será que os astecas decidiram que ela chorou por 52 anos, e não 51 ou 53?

O quinto sol, que na crença dos astecas é esse que hoje vemos no céu, era o deus Tonatiuh, também conhecido como Huitzilopochtli. Sua mãe, Coatlicue, gerou-o depois que um feixe de plumas a engravidou acidentalmente. Para nós é estranho, mas coisas assim pareceriam bem normais a pessoas criadas ouvindo mitos tradicionais (uma cabaça, que é a casca seca de uma fruta semelhante à abóbora, engravidou outra deusa asteca). Os quatrocentos filhos de Coatlicue ficaram tão furiosos quando viram a mãe grávida mais uma vez que tentaram decapitá-la. Mas no último minuto ela deu à luz Huitzilopochtli. Ele nasceu totalmente armado e não perdeu tempo: matou todos os seus meios-irmãos, exceto alguns que escaparam "para o sul". Huitzilopochtli assumiu então suas funções como o quinto sol.

Os astecas acreditavam que tinham de sacrificar vítimas humanas para apaziguar o Sol, do contrário ele não apareceria toda manhã. Pelo visto, não tiveram a ideia de experimentar não fazer sacrifícios para ver se o Sol não apareceria mesmo assim. Os sacrifícios astecas têm a fama de serem especialmente horripilantes. Quando essa civilização entrou em declínio, com a chegada dos espanhóis (que tinham seus próprios procedimentos horripilantes), o culto ao Sol atingira um clímax sangrento. Estima-se que entre 20 mil e 80 mil pessoas tenham sido sacrificadas para a reinauguração do grande templo de Tenochititlan em 1487. Várias oferendas eram feitas para apaziguar o deus, mas o que ele gostava mesmo era de sangue e de corações humanos ainda batendo. Um dos principais objetivos das guerras era conquistar muitos prisioneiros para sacrificá-los, arrancando seu coração do peito. A cerimônia normalmente ocorria em terreno elevado (para estar mais perto do Sol), por exemplo no topo das magníficas pirâmides que fazem a fama dos astecas, maias e incas. Quatro sacerdotes seguravam a vítima em cima do altar, enquanto um quinto empunhava a faca. Ele trabalhava o mais rápido possível para tirar o coração de modo que pudesse erguê-lo ainda batendo para o Sol. Nesse meio-tempo, o corpo ensanguentado e sem coração rolava encosta ou pirâmide abaixo, onde era recolhido pelos anciões e então desmembrado, na maior parte das vezes para ser comido em refeições rituais.

Também associamos as pirâmides a outra civilização antiga — o Egito. Os antigos egípcios também adoravam o Sol. Uma de suas principais divindades era Ra, o deus-sol.

Uma lenda egípcia dizia que a curva do céu era o corpo da deusa Nut arqueado sobre a Terra. Toda noite a deusa engolia o Sol, e na manhã seguinte devolvia-o à luz novamente.

Vários povos, inclusive os antigos gregos e os nórdicos, tinham lendas que descreviam o Sol como uma carruagem conduzida pelo céu. Hélio, o deus-sol dos gregos, deu seu nome a vários termos científicos associados ao astro, como vimos no capítulo 5.

Em outros mitos, o Sol não é um deus, mas uma das primeiras criações de um deus. No mito da criação de uma tribo hebreia do deserto do Oriente Médio, o deus tribal YHWH criou a luz no primeiro dos seis dias da criação — mas, surpreendentemente, ele só foi criar o sol no quarto dia! "Fez Deus os dois grandes luzeiros: o maior para governar o dia, e o menor para governar a noite; e fez também as estrelas." De onde vinha a luz no primeiro dia, antes de existirem o Sol e as estrelas, não nos é informado. Agora é hora de voltar à realidade e à verdadeira natureza do Sol, confirmada por dados científicos.

O que é realmente o Sol?

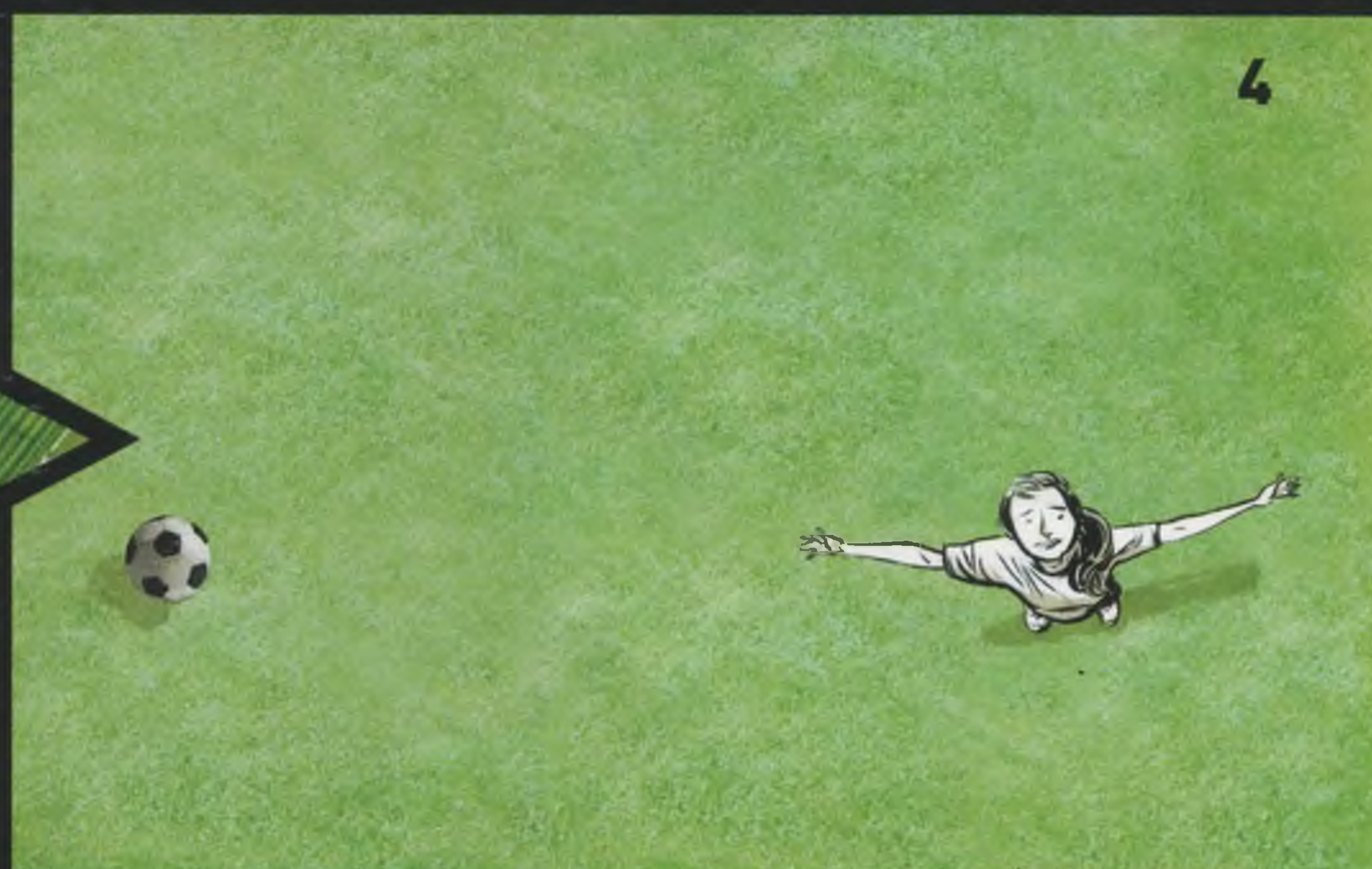
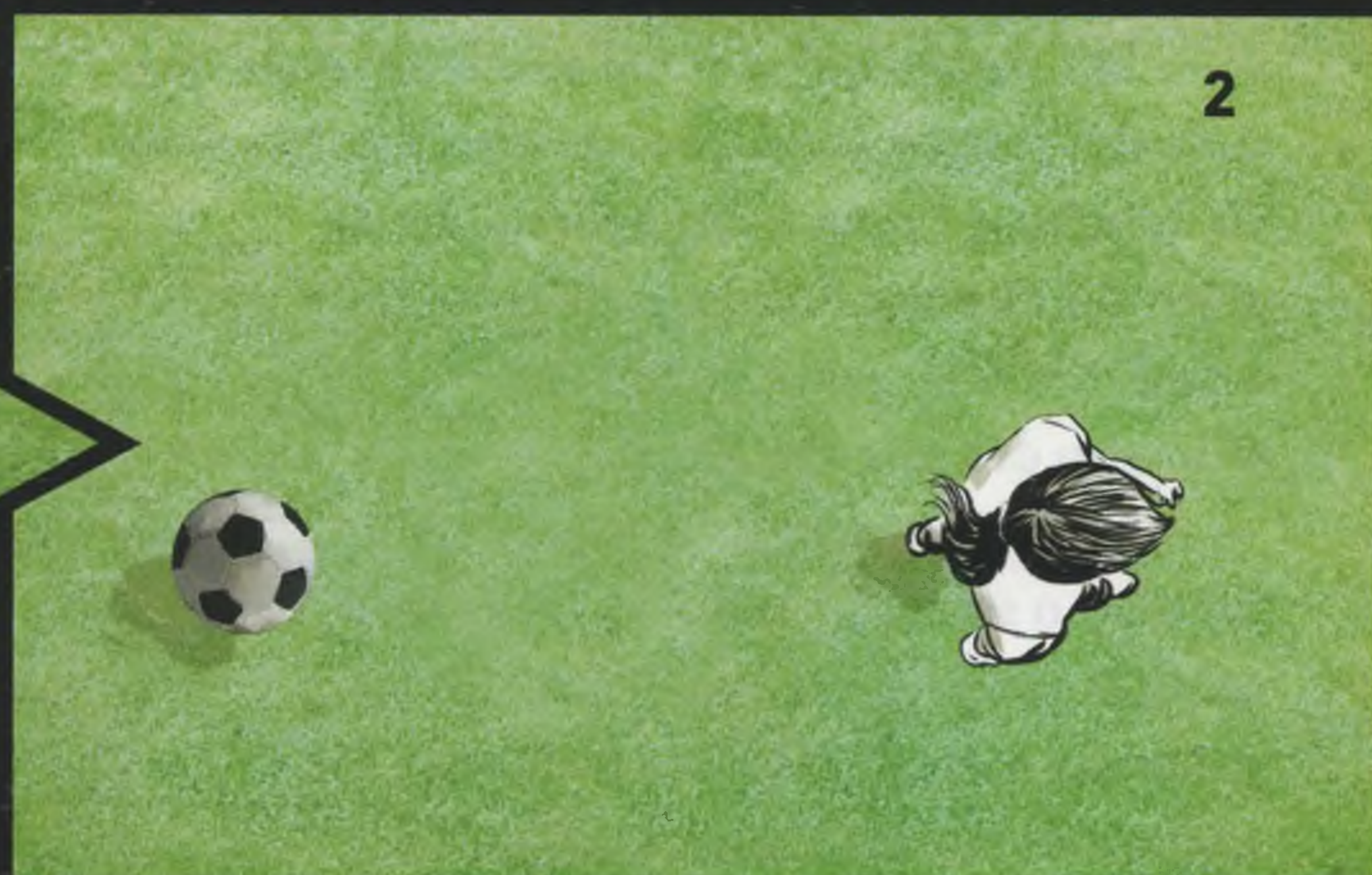
O Sol é uma estrela igual a muitas outras. Porém, como estamos perto, ele nos parece muito maior e mais brilhante. Pela mesma razão, ao contrário de qualquer outra estrela, ele nos aquece, danifica nossos olhos se o contemplarmos diretamente e queima nossa pele se nos expusermos demais aos seus raios. O Sol não se encontra apenas *um pouco* mais próximo que qualquer outra estrela: ele está imensamente mais próximo. É difícil ter noção de como as estrelas estão distantes, de como é grande o espaço. Na verdade, é mais que difícil: é quase impossível.

Um livro fascinante, *Earthsearch*, de John Cassidy, procura dar uma ideia dessas magnitudes usando um modelo em escala.

1

2

3

4

1. Vá até um vasto gramado e ponha no chão uma bola de futebol para representar o Sol.

2. Ande 25 m e ponha no chão um grão de pimenta para representar o tamanho da Terra e sua distância até o Sol.

3. A Lua, nessa mesma escala, seria uma cabeça de alfinete e estaria a 5 cm de distância do grão de pimenta.

4. Nessa mesma escala, a outra estrela mais próxima, Proxima Centauri, seria outra bola de futebol (um pouquinho menor), localizada mais ou menos... prepare-se...

... a 6500 km de distância!

Não se sabe se algum planeta orbita a Proxima Centauri, mas com certeza planetas orbitam outras estrelas, e a distância entre cada estrela e o planeta em geral é pequena comparada com a distância de uma estrela a outra.

OXFORD

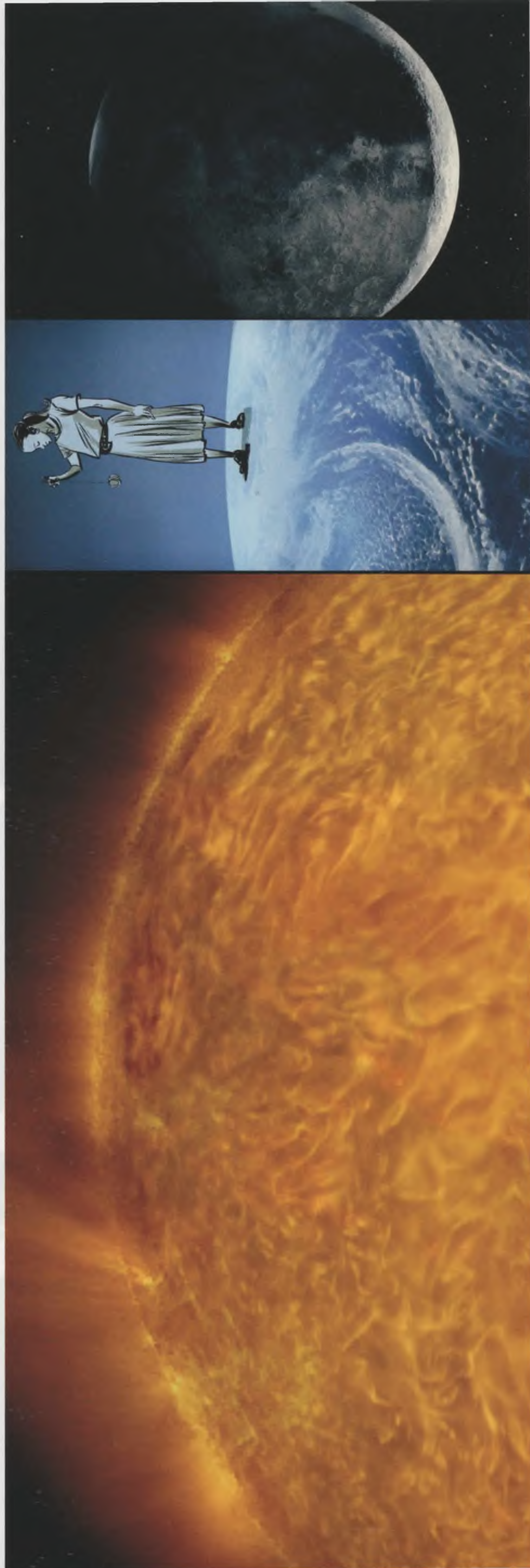
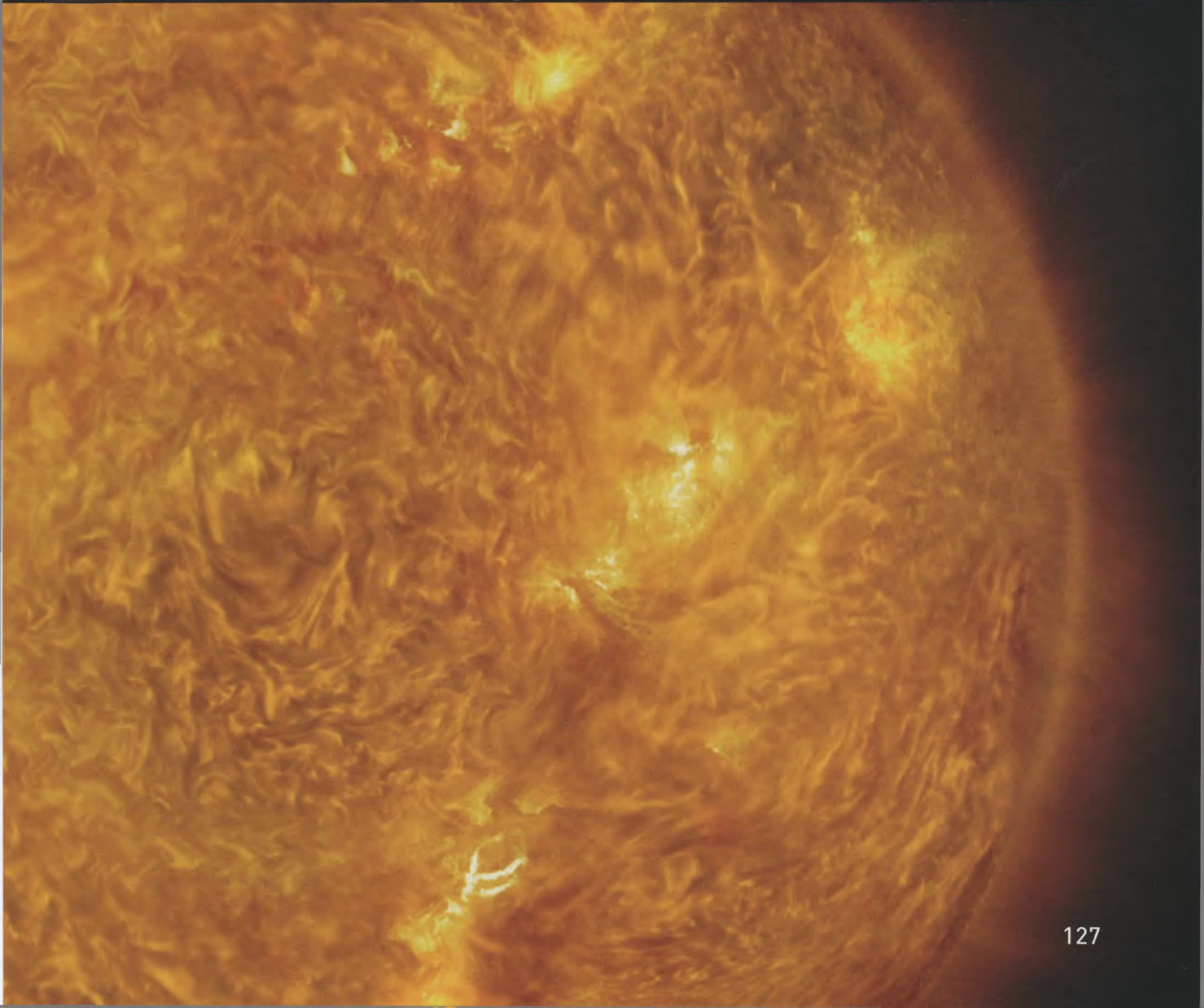
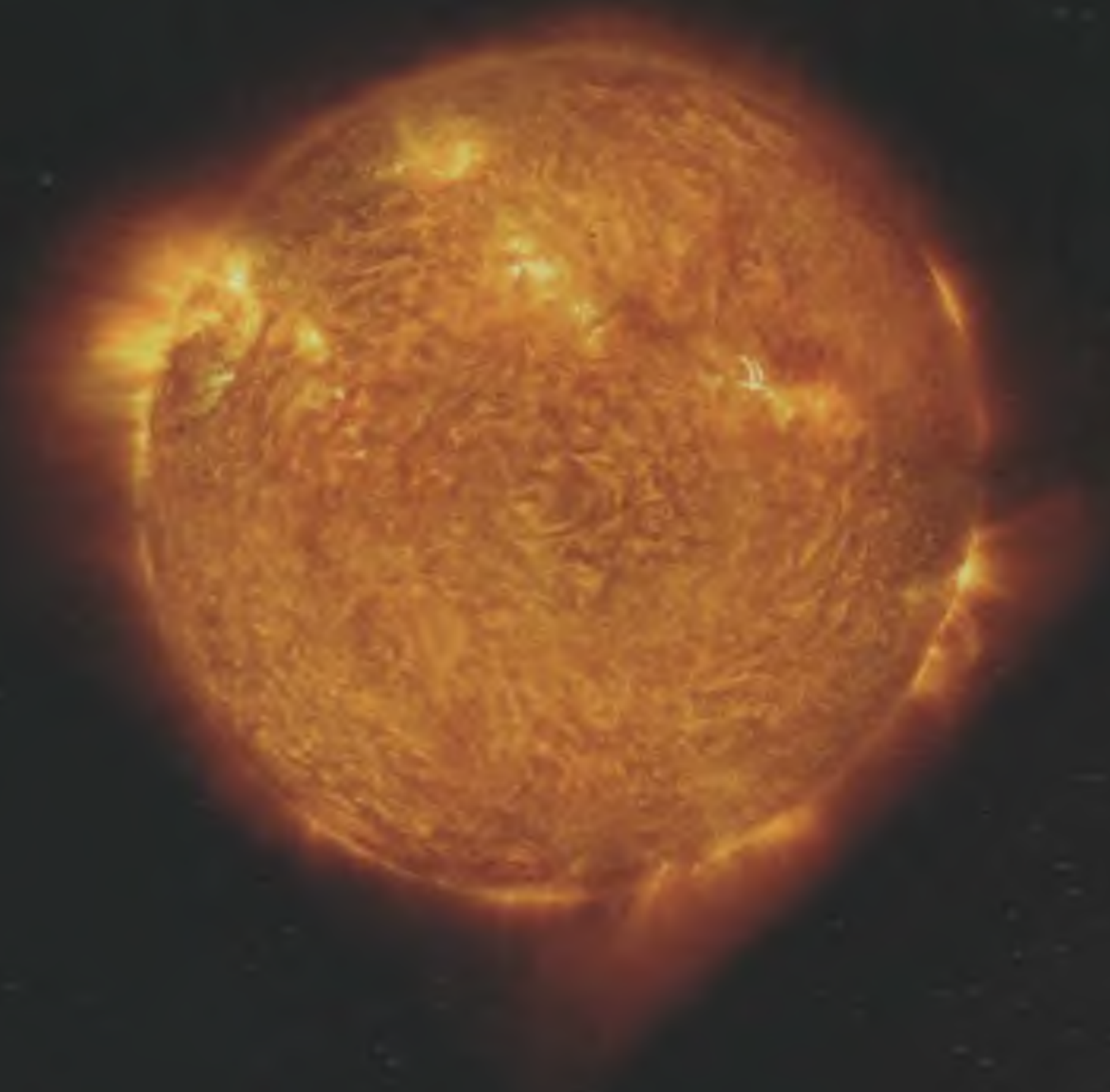
6500 km

NOVA DELHI

Como são as estrelas

A diferença entre uma estrela e um planeta é que as estrelas são brilhantes, quentes e podem ser vistas graças à sua própria luz, enquanto os planetas são frios e só os vemos graças à luz que refletem, vinda da estrela que orbitam. Essa diferença, por sua vez, é resultado de uma diferença de tamanho. Vejamos.

Quanto maior é um objeto, mais forte a atração gravitacional em direção a seu centro. Todo corpo atrai outros corpos pela gravidade. Até você e eu exercemos atração gravitacional um sobre o outro. No entanto, a atração só é forte o suficiente para ser notada quando um dos corpos é grande. A Terra é grande, por isso somos fortemente atraídos para ela, e quando derrubamos alguma coisa ela vai "para baixo", ou seja, cai em direção ao centro da Terra.

Uma estrela é muito maior que um planeta, portanto sua atração gravitacional é mais forte. O centro de uma estrela está sob imensa pressão, pois uma força gravitacional enorme atrai toda a matéria em direção ao centro. E quanto maior a pressão no interior de uma estrela, mais quente ela fica. Quando a temperatura atinge níveis altíssimos, a estrela começa a se comportar como uma espécie de bomba de hidrogênio de ação lenta, emitindo grandes quantidades de calor e luz, e nós a vemos brilhar no céu à noite. O calor intenso faz a estrela inflar como um balão, mas a gravidade a puxa novamente em direção ao centro. Existe um equilíbrio entre inflar pelo calor e encolher pela gravidade. A estrela funciona como seu próprio termostato: quanto mais quente se torna, mais infla; quanto maior fica, menos concentrada se torna a massa da matéria em seu centro, e ela esfria um pouco. Com isso, começa a encolher novamente, depois torna a se aquecer, e assim por diante. O modo como contei dá a impressão de que a estrela infla e encolhe rapidamente, como um coração batendo, mas não é o que ocorre. Ela se acomoda em um estado intermediário, que a mantém na temperatura exata para que permaneça assim.

Comecei dizendo que o Sol é apenas uma estrela como muitas outras, mas na verdade existem vários tipos de estrelas, de tamanhos imensamente variados. Nosso Sol (abaixo) não é grande para uma estrela. Ele é ligeiramente maior que a Proxima Centauri, mas é bem menor do que muitas outras.

Qual é a maior estrela conhecida? Isso vai depender de como a medimos. A estrela que tem a maior distância de um extremo a outro é chamada VY Canis Majoris. De ponta a ponta (diâmetro) seu tamanho é 2 mil vezes o do Sol. E o diâmetro do Sol é cem vezes o da Terra. No entanto, a VY Canis Majoris é tão diáfana e leve que, apesar de seu tamanho colossal, sua massa é apenas trinta vezes a do Sol, e não bilhões de vezes como seria caso seu corpo fosse igualmente denso. Outras estrelas, como a Pistola e as mais recentes descobertas Eta Carinae e R136a1 (um nome pouco simpático!), têm mais de cem vezes a massa do Sol. E o Sol tem mais de 300 mil vezes a massa da Terra, o que significa que a massa da Eta Carinae é 30 milhões de vezes maior que a da Terra.

Se uma estrela gigantesca como a R136a1 tiver planetas, eles têm que estar muito distantes dela, do contrário evaporariam instantaneamente. Sua gravidade é tamanha (devido à sua massa imensa) que seus planetas poderiam ser mantidos em órbita ainda que estivessem muito distantes. Se existir um planeta desses e alguém viver lá, provavelmente para esse habitante a R136a1 parecerá tão grande quanto o Sol nos parece, pois, embora ela seja muito maior, estaria muito mais longe — na distância certa, de fato, e também no tamanho que parece ser o certo para sustentar vida, do contrário não haveria vida por lá!

A vida de uma estrela

Na verdade, não é provável que existam planetas orbitando a R136a1, muito menos que haja vida por lá. Isso porque estrelas extremamente grandes têm vida muito curta. A R136a1 deve ter apenas 1 milhão de anos, o que é menos de um milésimo da idade do Sol. Não é tempo suficiente para a vida se desenvolver.

O Sol é uma estrela menor, bem mais "convencional". É o tipo de estrela que tem uma história de bilhões de anos (e não apenas milhões), durante a qual passa por fases de desenvolvimento, como uma criança que cresce, torna-se adulta, chega à meia-idade, envelhece e morre. As estrelas mais comuns consistem principalmente em hidrogênio, o mais simples de todos os elementos (ver capítulo 4). A "bomba de hidrogênio de ação lenta" no interior de uma estrela converte hidrogênio em hélio, o segundo elemento mais simples (e outra coisa que recebeu o nome do deus-sol grego). Essa transformação libera uma quantidade colossal de energia em forma de calor, luz e outros tipos de radiação. Como vimos, o tamanho de uma estrela é dado por um equilíbrio entre a expansão decorrente do calor e a contração causada pela gravidade. Pois esse equilíbrio mantém a estrela acesa por bilhões de anos, até que ela começa a ficar sem combustível. O que em geral acontece então é que ela sofre um colapso, implodida pela atração da gravidade, e então o cenário que se forma é infernal (se é que se pode imaginar algo mais infernal do que o interior de uma estrela já é normalmente).

A história de vida de uma estrela é longa demais para que os astrônomos possam ver mais do que uma ínfima parte dela. Felizmente, quando escaneiam o céu com seus telescópios, eles encontram uma variedade de estrelas, cada qual em uma fase diferente de desenvolvimento: algumas "recém-nascidas", vistas no momento em que estão se formando a partir de nuvens de gás e poeira, como aconteceu com nosso Sol há 4,5 bilhões de anos; numerosas estrelas de "meia-idade", como o nosso Sol; e algumas estrelas velhas e moribundas, que nos mostram o que acontecerá com o Sol em alguns bilhões de anos. Os astrônomos montaram um rico "zoológico" de estrelas de todos os tamanhos e em todas as fases do ciclo de vida. Cada membro mostra o que as outras já foram ou serão.

Uma estrela comum como o Sol finalmente esgota seu hidrogênio e, como acabei de descrever, começa a "queimar" hélio (entre aspas, porque na realidade ela não queima, mas faz algo muito mais quente com ele). Nessa fase, ela é chamada de "gigante vermelha". O Sol se tornará uma gigante vermelha daqui a aproximadamente 5 bilhões de anos, o que significa que agora ele se encontra mais ou menos no meio de seu ciclo de vida. Mas, muito antes de isso acontecer, o coitado do nosso planeta terá se tornado quente demais para abrigar vida. Em 2 bilhões de anos, o Sol será 15% mais brilhante do que é hoje, o que significa que a Terra será como Vênus é agora. Ninguém pode viver em Vênus: lá a temperatura é superior a 400° C. Mas 2 bilhões de anos é um tempo bem longo, e os humanos quase certamente estarão extintos bem antes disso, portanto não haverá ninguém para virar fritura. Ou, quem sabe, nossa tecnologia terá avançado a ponto de nos permitir deslocar a Terra para uma órbita mais confortável. Mais tarde, quando o hélio também se esgotar, o Sol praticamente desaparecerá numa nuvem de poeira e resíduos, restando um minúsculo núcleo que chamamos de anã branca, o qual esfriará e perderá o brilho gradualmente.

Supernovas e poeira de estrela

A história termina de outro modo para as que são muito maiores e mais quentes que o Sol, como as estrelas gigantes de que falávamos. Esses colossos "queimam" hidrogênio muito mais depressa, e suas fornalhas nucleares de "bombas de hidrogênio" fazem mais do que apenas juntar núcleos de hidrogênio e transformá-los em núcleos de hélio. As fornalhas prosseguem juntando núcleos de hélio e produzindo elementos ainda mais pesados, até terem gerado uma ampla variedade de átomos mais pesados, como carbono, oxigênio, nitrogênio e ferro (mas até agora nada mais pesado que o ferro): elementos que são abundantes na Terra e em todos nós. Depois de relativamente pouco tempo, uma estrela grande como essa acaba por se destruir em uma gigantesca explosão que chamamos de supernova, e assim se formam elementos mais pesados que o ferro.

E se a Eta Carinae virasse uma supernova amanhã? Seria uma explosão monstruosa. Mas não se preocupe: só teríamos notícia do fato daqui a 8 mil anos, que é quanto a luz demora para percorrer a imensa distância entre essa estrela e nós (e nada viaja mais rápido que a luz). E se a Eta Carinae tiver explodido 8 mil anos atrás? Bem, nesse caso a luz e outras radiações da explosão chegariam até nós a qualquer momento. Em toda a história, temos registros de apenas vinte supernovas. O grande cientista alemão Johannes Kepler viu uma em 9 de outubro de 1604. A figura inferior nesta página mostra os restos dessa explosão como são vistos hoje: os resíduos expandiram-se desde 1604. A explosão ocorreu cerca de 20 mil anos antes, mais ou menos na época em que os neandertais se extinguiram.

Já as supernovas podem criar elementos ainda mais pesados que o ferro: chumbo, por exemplo, e urânio. A titânica explosão de uma espalha por imensas distâncias no espaço todos os elementos que a estrela, e depois a supernova, fabricaram, inclusive aqueles necessários à vida. Por fim, as nuvens de poeira, ricas em elementos pesados, recomeçam o ciclo, condensando-se para formar estrelas e planetas. Veio daí a matéria do nosso planeta, e é por isso que a Terra contém os elementos que são necessários para nos produzir: carbono, nitrogênio, oxigênio etc. Eles vieram da poeira que permaneceu quando uma supernova, agora desaparecida há muito tempo, acendeu o cosmos. Essa é a origem da poética frase "somos poeira de estrela". É literalmente verdade. Sem explosões ocasionais (mas raríssimas) de supernovas, os elementos necessários à vida não existiriam.

Gira-gira

Não podemos ignorar o fato de que a Terra e os planetas do sistema solar orbitam sua estrela num mesmo plano. Mas o que isso significa? Teoricamente, a órbita de um planeta poderia estar inclinada em qualquer ângulo em relação aos outros. Mas isso não acontece. É como se houvesse um disco invisível no céu, com o Sol no centro, e todos os planetas se movessem sobre esse disco, só que a diferentes distâncias do centro. E mais: todos os planetas giram em torno do Sol na mesma direção.

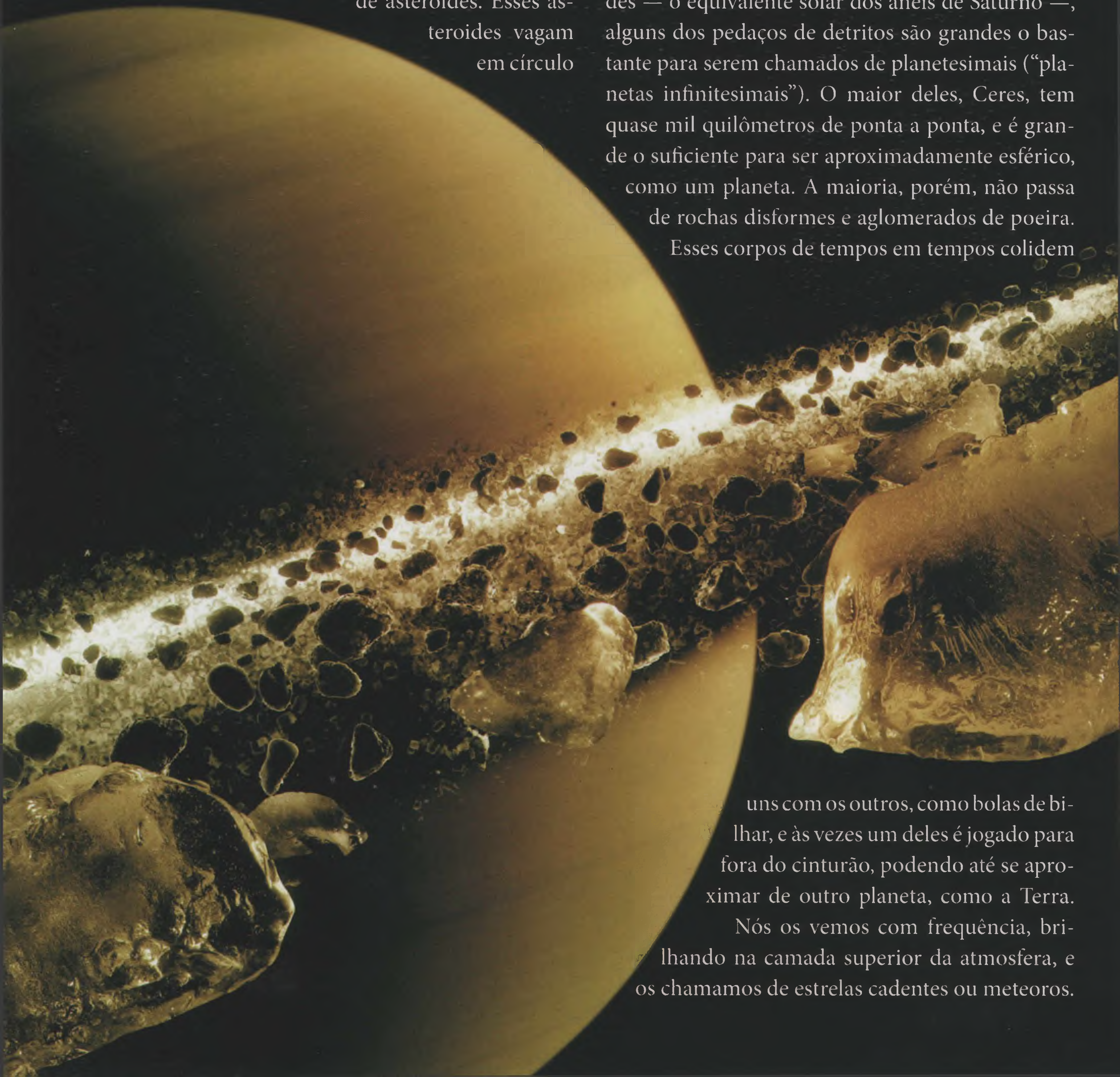
Por quê? Provavelmente em razão do modo como começaram. Examinemos primeiro a rotação. Todo o sistema solar começou como uma nuvem de gás e poeira girando devagar. Provavelmente eram restos da explosão de uma supernova. Como quase qualquer outro objeto flutuando livre no universo, a nuvem girava em torno de seu próprio eixo. Você já deve ter adivinhado: a direção desse giro era a mesma dos planetas que hoje orbitam o Sol.

Mas então por que todos os planetas estão no plano desse disco? Por razões gravitacionais complicadas que não discutirei aqui, mas que os cientistas compreendem bem, uma grande nuvem giratória de gás e

poeira no espaço tende a assumir a forma de um disco giratório, com uma grande aglomeração no centro. E é isso que parece ter acontecido com o sistema solar. Poeira, gás e pequenos pedaços de matéria não permanecem como gás e poeira. A atração gravitacional os impele em direção a seus vizinhos, do modo como descrevi no começo do capítulo. Juntam forças com eles e formam aglomerados de matéria maiores. Quanto maior o aglomerado, maior sua força de atração gravitacional. Assim, o que aconteceu no nosso disco giratório foi que os pedaços mais graúdos tornaram-se cada vez maiores conforme foram atraindo seus vizinhos menores.

O pedaço incomparavelmente maior tornou-se o Sol, no centro. Outros pedaços, grandes o bastante para atrair os menores e distantes o suficiente do Sol para não serem sugados por ele, tornaram-se os planetas. Enumerados a partir do Sol, eles são: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Listas antigas incluíam Plutão depois de Netuno, mas atualmente ele é considerado pequeno demais para ser chamado de planeta.

Asteroides e meteoros

Em circunstâncias diferentes, outro planeta poderia ter se formado entre as órbitas de Marte e Júpiter. Mas os pequenos pedaços que talvez tivessem se juntado para formar esse planeta foram impedidos de fazê-lo, provavelmente pela presença gravitacional dominante de Júpiter, e permaneceram em órbita como um anel de detritos chamado cinturão de asteroides. Esses asteroides vagam em círculo entre as órbitas de Marte e Júpiter, onde o planeta adicional estaria se todos esses fragmentos tivessem conseguido se juntar. Os famosos anéis ao redor de Saturno estão lá por motivo semelhante. Poderiam ter se condensado, formando outra lua (Saturno já possui 62 luas), mas permaneceram separados em um anel de rochas e poeira. No cinturão de asteroides — o equivalente solar dos anéis de Saturno —, alguns dos pedaços de detritos são grandes o bastante para serem chamados de planetesimais ("planetas infinitesimais"). O maior deles, Ceres, tem quase mil quilômetros de ponta a ponta, e é grande o suficiente para ser aproximadamente esférico, como um planeta. A maioria, porém, não passa de rochas disformes e aglomerados de poeira. Esses corpos de tempos em tempos colidem uns com os outros, como bolas de bilhar, e às vezes um deles é jogado para fora do cinturão, podendo até se aproximar de outro planeta, como a Terra. Nós os vemos com frequência, brilhando na camada superior da atmosfera, e os chamamos de estrelas cadentes ou meteoros.

É menos comum que um meteoro seja grande o bastante para sobreviver à travessia da atmosfera e cair na Terra. Em 9 de outubro de 1992, um meteoro desintegrou-se na atmosfera e um fragmento do tamanho de um tijolo caiu sobre um carro em Peekskill, no estado de Nova York. Um meteoro do tamanho de uma casa explodiu no céu da Sibéria em 30 de junho de 1908, incendiando uma vasta área de floresta.

Os cientistas sabem que há 65 milhões de anos um meteoro ainda maior atingiu Yucatán, na América Central. Isso causou um desastre global e provavelmente a extinção dos dinossauros. Calcula-se que a energia liberada por essa colisão foi centenas de vezes maior que a que seria liberada se todas as armas nucleares do mundo explodissem simultaneamente. Devem ter ocorrido terremotos devastadores, tsunamis épicos e queimadas impressionantes no mundo todo. Além disso, uma densa nuvem de poeira e fumaça deve ter escurecido a superfície da Terra por anos.

Isso deve ter matado as plantas, que precisam de luz, e os animais, que precisam de plantas. O surpreendente não é que os dinossauros tenham morrido, mas que nossos ancestrais mamíferos tenham sobrevivido. Talvez uma população minúscula tenha escapado hibernando no subsolo.

A luz da nossa vida

Quero encerrar o capítulo falando da importância do Sol na nossa vida. Não sabemos se há vida em outras partes do universo (discutirei essa questão em outro capítulo), mas sabemos que, se existir, quase certamente é perto de uma estrela. Também podemos dizer que, se a vida por lá for qualquer coisa pelo menos parecida com a vida encontrada no nosso planeta, provavelmente estará em um planeta cuja distância aparente que a separa de sua estrela é mais ou menos igual à nossa distância do Sol. "Distância aparente" é a distância como percebida pela própria forma de vida. A distância absoluta pode ser muito maior, como vimos no exemplo da gigantesca estrela R136a1. Mas, se a distância aparente for a mesma, o sol dará a esses seres a impressão de estar mais ou menos à mesma distância que o nosso está de nós, o que significa que a quantidade de calor e luz recebida dele é mais ou menos igual à nossa.

Por que a vida precisa estar próxima de uma estrela? Porque toda forma de vida requer energia, e a luz das estrelas é fonte de energia. Na Terra, as plantas captam a luz do Sol e disponibilizam energia para os demais seres vivos. Poderíamos dizer que elas se alimentam de luz solar. Precisam de outras coisas também, como dióxido de carbono do ar, água e minerais do solo. Mas obtêm energia da luz do sol e a usam para fabricar açúcares, que são um combustível para as tarefas que executam.

Não se pode produzir açúcar sem energia. E assim que se tem açúcar pode-se "queimá-lo" para obter energia de novo. Mas nunca se tem toda a energia de volta: algo sempre se perde no processo. E quando dizemos "queimar", não significa virar fumaça. É apenas um modo de liberar a energia de um combustível. Há modos de deixar que a energia seja liberada aos poucos, em ritmo lento, para que possa ser utilizada.

Você pode pensar numa folha verde como uma fábrica cujo telhado plano é um grande painel solar que capta a luz e a usa para mover as rodas da linha de montagem sob o teto. É por isso que as folhas são finas e achatadas. Isso lhes dá uma vasta área na superfície onde a luz pode incidir. O produto final da fábrica são vários tipos de açúcar. Eles são transportados pelas veias da folha até as outras partes da planta, onde são usados para produzir outras coisas, como o amido, que é um modo conveniente de armazenar energia. Por fim, a energia é liberada do amido ou açúcar para fazer as demais partes da planta.

Quando as plantas são comidas por herbívoros ("comedores de plantas") como antílopes e coelhos, a energia passa para esses animais — e novamente parte dela perde-se no processo. Os herbívoros a usam para construir o

Alimentação

Digestão

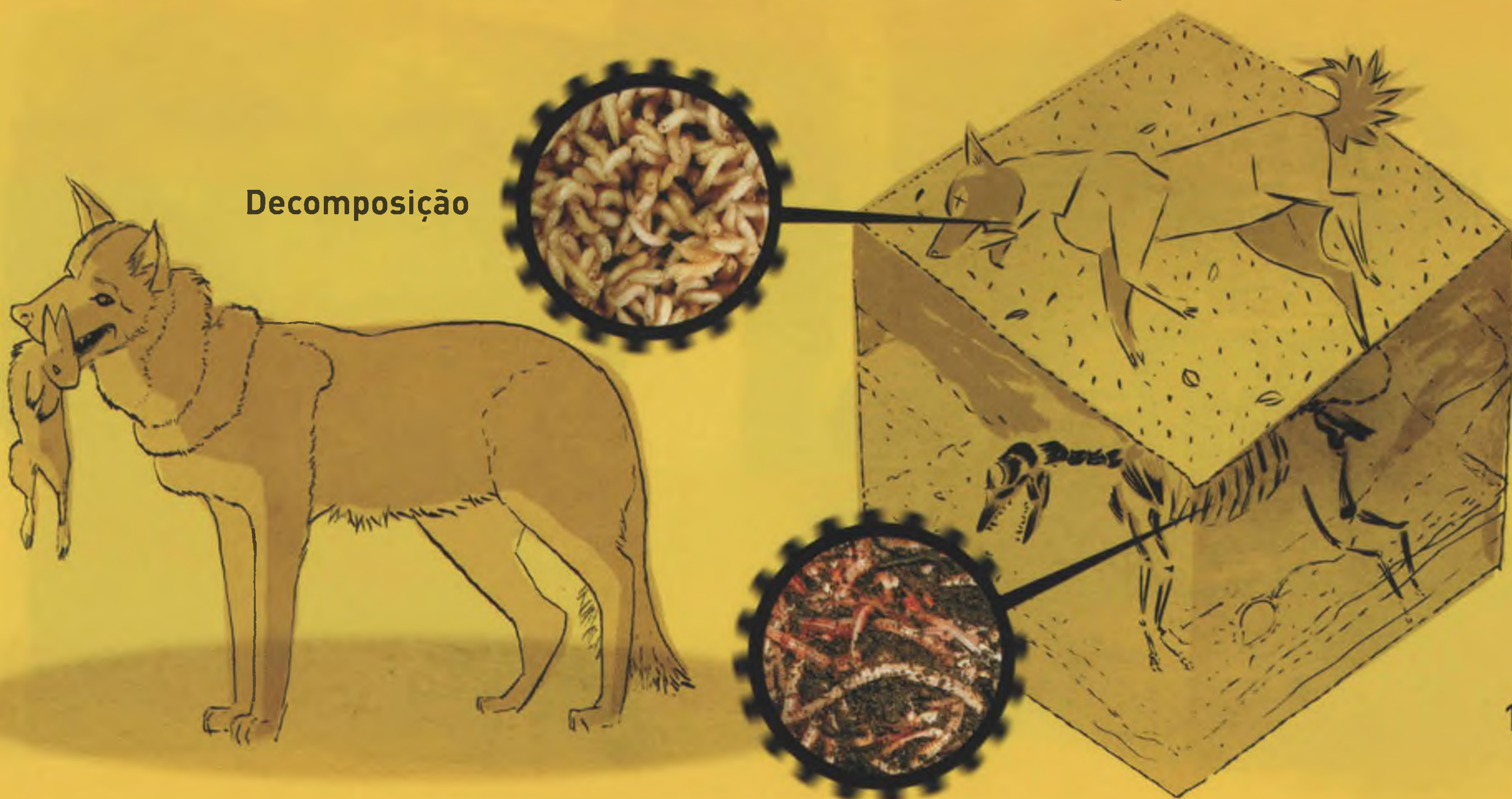
corpo e fornecer combustível aos músculos durante suas atividades, que incluem pastar e comer outras plantas. A energia que impele os músculos deles enquanto andam, mastigam, lutam e se acasalam provém do Sol, por intermédio das plantas.

E então vêm outros animais, os carnívoros, e comem os herbívoros. A energia passa mais uma vez para outro corpo (e outra parte dela é perdida na transição) e impele os músculos dos carnívoros enquanto fazem suas atividades, que incluem caçar herbívoros para comer, acasalar-se, lutar, subir em árvores e, no caso dos mamíferos, produzir leite para os filhotes. Ainda assim, é o Sol que fornece a energia, muito embora a essa altura chegue até eles por um caminho bem indireto. A cada etapa dessa rota indireta, uma boa fração da energia é perdida em forma de calor, o que contribui para a inútil tarefa de aquecer o universo.

Outros animais, os parasitas, alimentam-se de corpos vivos de herbívoros e carnívoros. Mais uma vez, a energia que os impele provém do Sol, e mais uma vez nem toda ela é usada porque uma parte se perde em forma de calor.

Finalmente, quando qualquer criatura morre, seja planta, herbívoro, carnívoro ou parasita, pode ser comida por animais que se alimentam de matéria em decomposição, como os insetos necróforos, ou pode se decompor, servindo de alimento para bactérias e fungos, que são apenas um tipo diferente de comedores de matéria em decomposição. De novo a energia do Sol passa adiante, e outra vez parte dela se perde em forma de calor. É por isso que as composteiras, ou montes de lixo orgânico, são quentes. Todo o calor presente nela provém do Sol, captado pelos painéis solares das folhas. Existem aves australianas fascinantes chamadas megapódidas que usam o calor de composteiras para incubar seus ovos. Ao contrário de outras aves, que se sentam sobre seus ovos para aquecê-los com o calor do corpo, elas fazem uma grande pilha de composto orgânico e põem seus ovos ali, regulando a temperatura pondo mais material no monte para torná-lo mais quente ou removendo material para diminuir o calor. Em última análise, todas as aves usam energia solar para chocar seus ovos, seja por meio do calor do corpo, seja numa composteira.

Às vezes, plantas não são comidas, mas afundam em turfeiras, um tipo de jazida de matéria vegetal morta. Com o passar dos séculos, são comprimidas em camadas por novas quantidades de turfa que se acumulam por cima. No oeste da Irlanda e nas ilhas escocesas, as pessoas desenterram essa turfa, cortam-na em pedaços do tamanho de um tijolo e a queimam para aquecer suas casas no inverno. Mais uma vez, é a luz solar captada, nesse caso séculos antes, que libera energia nas lareiras e nos fogões de irlandeses e escoceses.

Decomposição

Em certas condições, ao longo de milhões de anos a turfa pode se compactar e se transformar em carvão, um combustível mais eficiente, porque queima a uma temperatura muito mais elevada. Fogueiras e fornalhas a carvão moveram a Revolução Industrial, nos séculos XVIII e XIX.

O calor intenso de uma usina siderúrgica, de um alto-forno ou das fornalhas da era vitoriana que impeliram as trovejantes locomotivas a vapor por trilhos de ferro ou os navios pelos mares proveio originalmente do Sol, por intermédio das folhas que viveram há 300 milhões de anos.

Algumas fábricas da Revolução Industrial usavam a energia do vapor, mas muitas das primeiras indústrias de tecidos de algodão eram movidas por roda-d'água. A fábrica ficava à beira de um rio de correnteza forte, cujas águas eram canalizadas para mover a roda hidráulica, que girava um grande eixo, o eixo motor, que percorria a fábrica de ponta a ponta. Ao longo dele, correias e engrenagens moviam máquinas de fiar, cardar e tecer algodão. Até essas máquinas eram, em última análise, movidas pelo Sol. Vejamos como.

A água, atraída monte abaixo pela gravidade, move as rodas-d'água. Mas isso só funciona porque existe um fornecimento contínuo proveniente do terreno elevado, de onde ela pode correr para as terras mais baixas. Essa água é fornecida em forma de chuva, que vem das nuvens e cai sobre as colinas e montanhas. E as nuvens obtêm água graças à evaporação de mares, lagos, rios e poças na Terra. A evaporação requer energia, e essa energia provém do Sol. Assim, a energia que impelia as rodas-d'água que moviam as correias e engrenagens das máquinas era fornecida pelo Sol.

Mais tarde, as fábricas de algodão passaram a ser movidas por máquinas a vapor usando carvão como combustível — em última análise, usando a energia do Sol. Mas antes de mudar totalmente para a energia do vapor, as fábricas passaram por um estágio intermediário. Nele, mantinham a grande roda-d'água para mover teares e lançadeiras, mas usavam um motor a vapor para bombear a água para um tanque, de onde caía sobre a roda-d'água e voltava a ser bombeada para cima. Portanto, quer a água fosse levada para as nuvens pelo calor do Sol, quer fosse impelida até um tanque por uma bomba movida a vapor, a energia continuava provindo do Sol antes de tudo. A diferença é que a máquina a vapor é movida pela luz solar captada por plantas milhões de anos antes e armazenada no subsolo em forma de carvão, ao passo que a roda-d'água à beira do rio é movida pela luz do Sol disponibilizada apenas algumas semanas antes e

armazenada em forma de água nos montes. Esse tipo de luz solar armazenada é denominado energia potencial, porque a água pode realizar um trabalho ao correr morro abaixo.

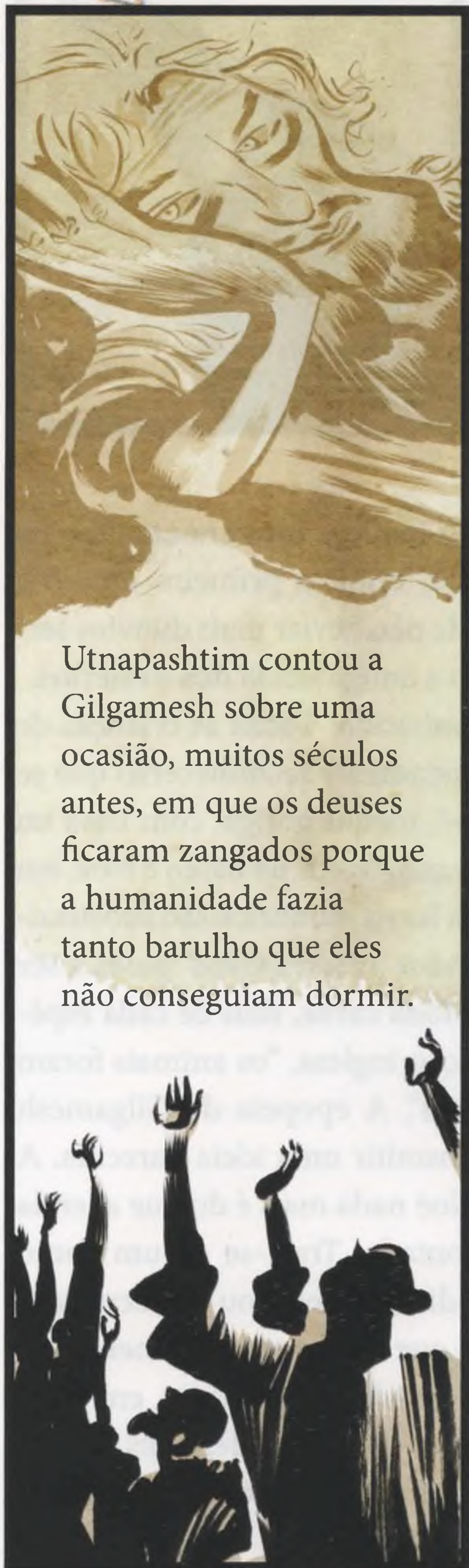
É um bom modo de entender como a energia da vida provém do Sol. O uso da luz solar pelas plantas para produzir açúcar é comparável ao bombeamento de água para o alto do morro ou para o tanque no telhado de uma fábrica. Quando as plantas (ou os herbívoros que as comem, ou os carnívoros que os comem) usam o açúcar (ou o amido que é feito dele, ou a carne que é feita de amido), podemos considerar que ele está sendo queimado, por exemplo, para mover músculos, como o carvão é queimado para produzir o vapor que impele um eixo numa fábrica.

Não faria bem para nós se literalmente queimássemos açúcar e outros combustíveis que obtemos dos alimentos. Queimar é um modo de recuperar a energia solar armazenada que implica desperdício e destruição. O que acontece em nossas células é um processo lento e regulado, como água que flui devagar morro abaixo para mover uma série de rodas de moinho. A reação química movida a luz solar que ocorre nas folhas para produzir açúcar faz o equivalente ao transporte da água para a parte elevada do terreno. As reações químicas nas células animais e vegetais que usam energia obtêm a energia passo a passo, em estágios cuidadosamente controlados. Os combustíveis com alto potencial — açúcares ou outros — são levados a liberar sua energia em estágios através de uma cascata de reações químicas, cada qual alimentando a subsequente, como uma correnteza que passa por uma série de pequenas quedas d'água, fazendo girar uma roda após outra.

Todas as rodas-d'água, engrenagens e eixos da vida são, em última análise, movidos pelo Sol. Talvez os povos antigos o adorassem com ainda mais devoção se percebessem que a vida depende dele. Mas me pergunto: quantas outras estrelas impelirão os motores da vida em planetas que as orbitam? Isso terá de esperar outro capítulo.

O que é um 7

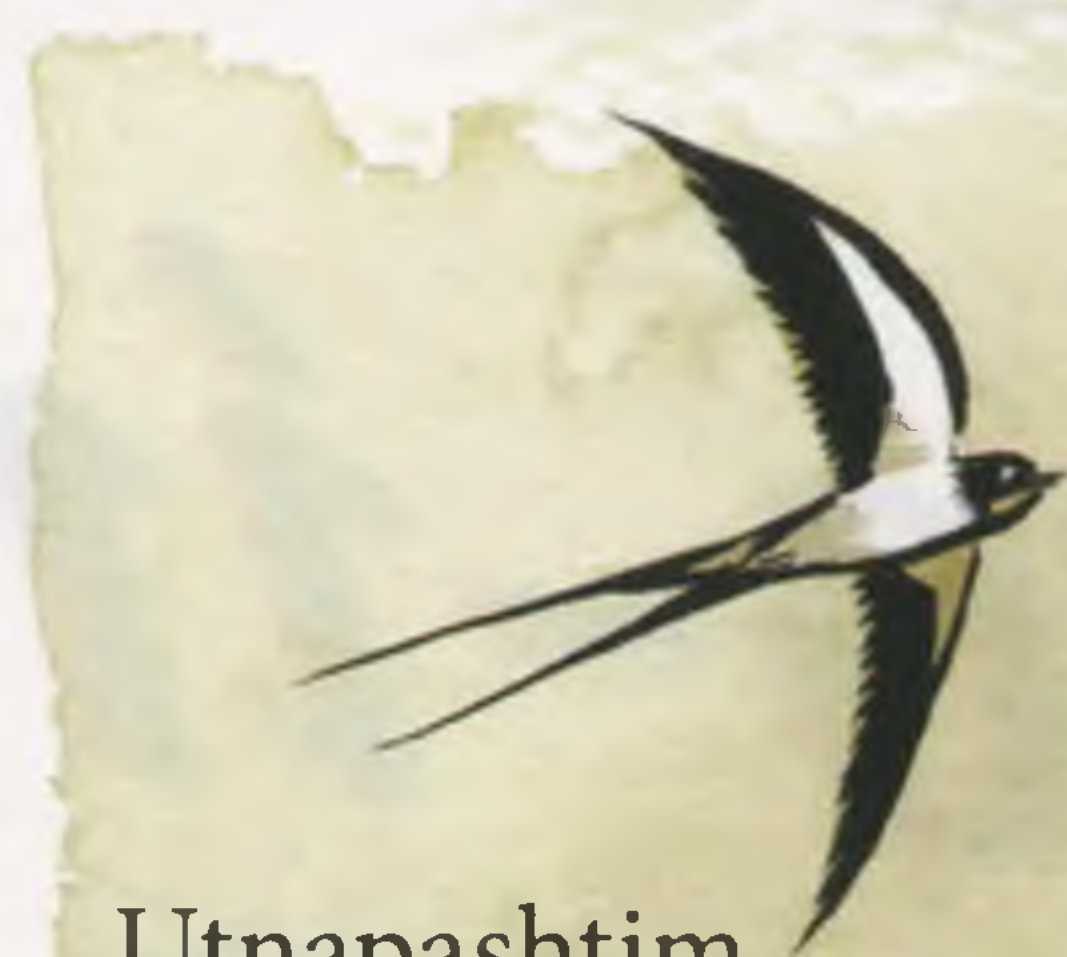
A EPOPEIA DE Gilgamesh é uma das mais antigas histórias já escritas. Anterior às lendas gregas e judaicas, é o mito heroico da milenar civilização suméria, que floresceu na Mesopotâmia (hoje Iraque) entre 5 e 6 mil anos atrás. Gilgamesh é o grande rei do mito sumérico — mais ou menos como o rei Arthur da lendas britânicas, pois, como Arthur, ninguém sabe se ele realmente existiu apesar de haver inúmeras histórias a seu respeito. Como o herói grego Odisseu (ou Ulisses) e o herói árabe Simbad, o Marujo, Gilgamesh fez jornadas épicas e encontrou muitas coisas e pessoas exóticas. Como um ancião (um homem muito velho, de centenas de anos) chamado Utnapashtim, que contou a Gilgamesh uma estranha história sobre si mesmo. Na verdade, ela pareceu estranha a Gilgamesh, mas não vai parecer para você, que provavelmente já ouviu um conto parecido, só que sobre outro ancião, com um nome diferente.

arco-íris?

Utnapashtim contou a Gilgamesh sobre uma ocasião, muitos séculos antes, em que os deuses ficaram zangados porque a humanidade fazia tanto barulho que eles não conseguiam dormir.

O deus supremo, Enlil, sugeriu mandarem uma grande inundação para destruir tudo e permitir assim uma boa noite de sono aos deuses. Mas o deus da água, Ea, alertou Utnapashtim e disse a ele que desmontasse sua casa e construísse um barco.

Teria de ser um barco bem grande, pois Utnapashtim deveria levar para lá "a semente de todos os seres vivos".

Ele construiu seu barco bem a tempo, antes de chover por seis dias e seis noites sem parar. O dilúvio resultante encobriu a terra e afogou todos aqueles que não estavam a salvo dentro do barco. No sétimo dia, o vento amainou e as águas se acalmaram.

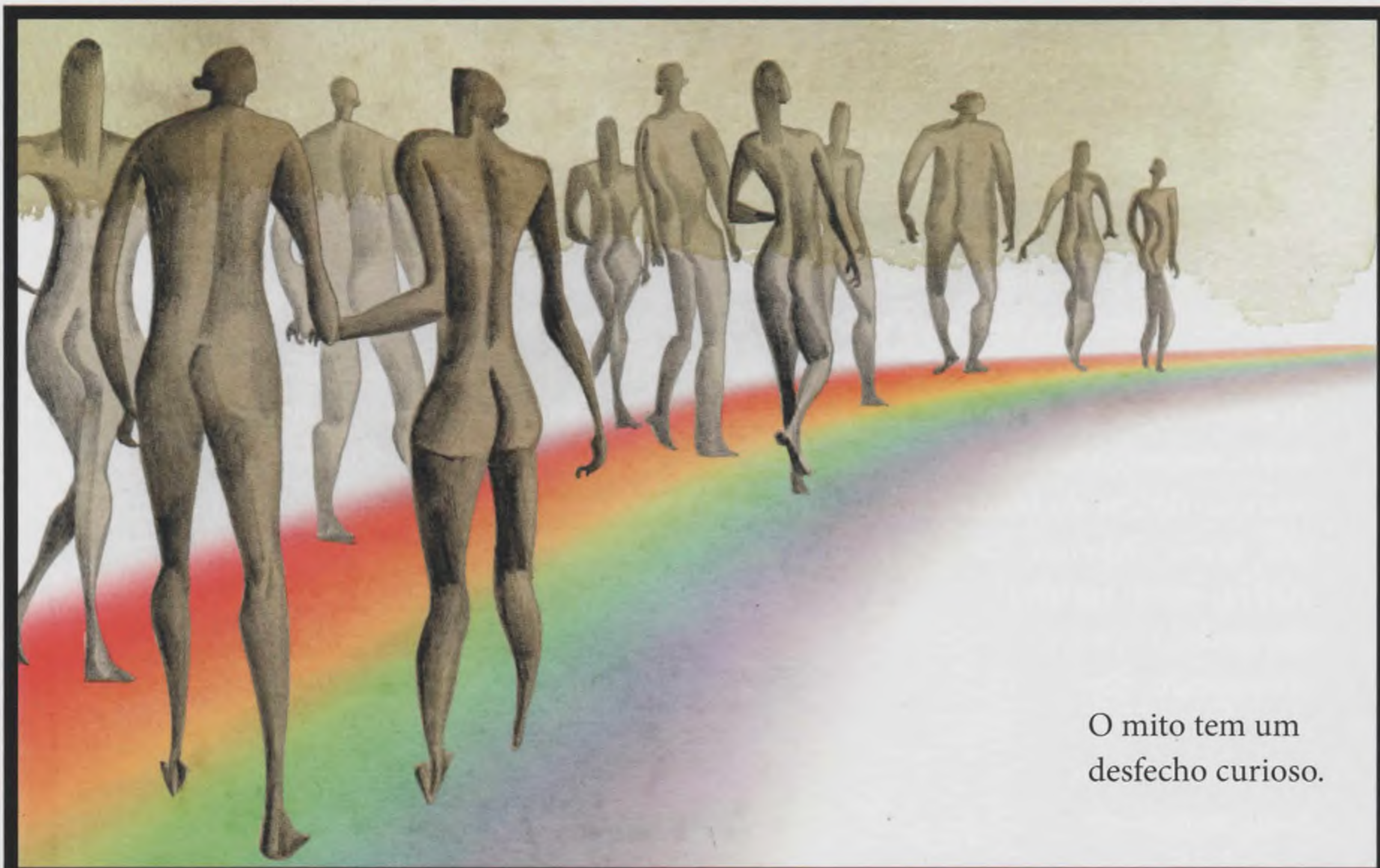
Utnapashtim abriu um alçapão no barco hermeticamente fechado e soltou uma pomba. Ela saiu voando à procura de terra firme, não a encontrou e retornou. O homem soltou então uma andorinha, mas o resultado foi o mesmo.

Finalmente, ele soltou um corvo. A ave não regressou, por isso Utnapashtim deduziu que devia haver terra firme em alguma parte e a ave a havia encontrado.

Depois de um tempo, o barco pousou no topo de uma montanha que despontava nas águas. Outro deus, Ishtar, criou o primeiro arco-íris como sinal da palavra dada pelos deuses de não enviar mais dilúvios terríveis. E assim surgiu o arco-íris, segundo a antiga lenda dos sumérios.

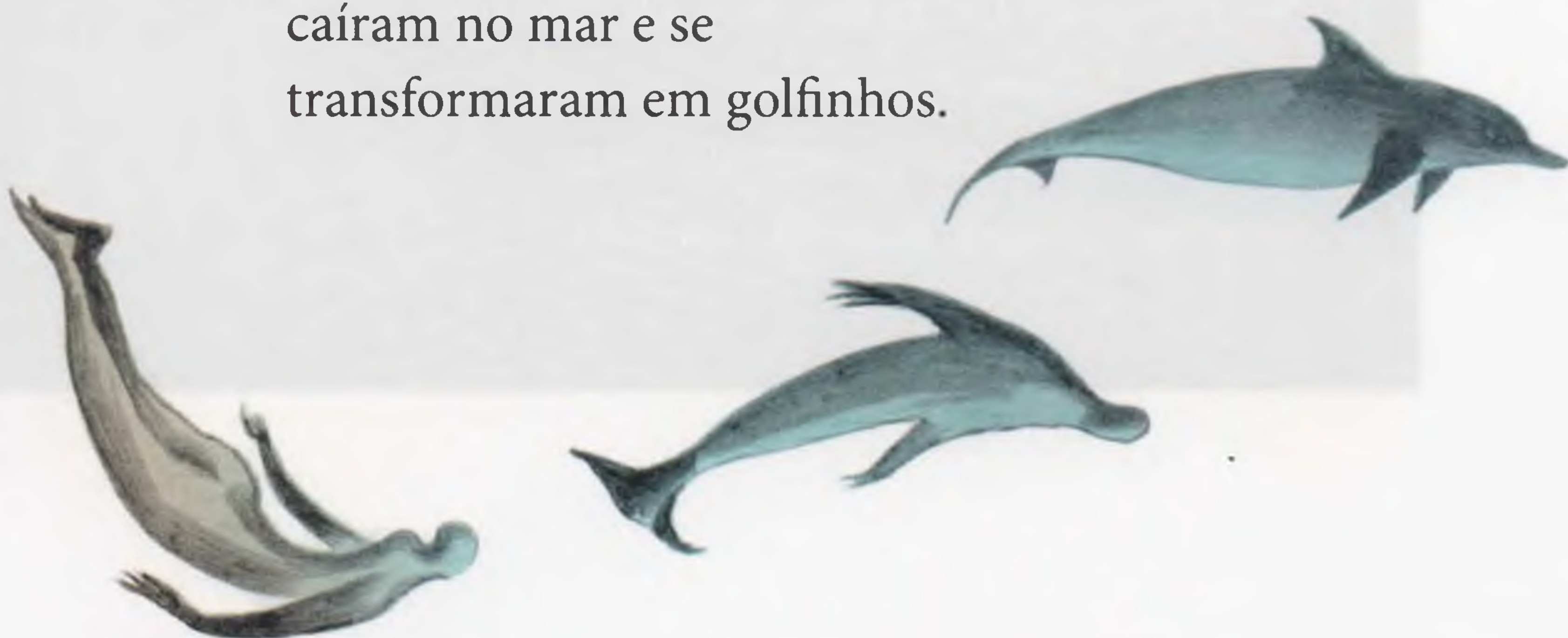
Eu disse que a história pareceria conhecida. Todas as crianças de famílias cristãs, judias ou islâmicas imediatamente reconhecerão que se trata da mesma narrativa da Arca de Noé, menos antiga, com uma ou outra diferença insignificante. O nome do construtor do barco é Noé, em vez de Utnapashtim. Os muitos deuses da lenda suméria são substituídos por um único deus. A "semente de todos os seres vivos" passa a ser descrita como "De tudo o que vive, de toda carne, dois de cada espécie" ou, como diz uma canção inglesa, "os animais foram entrando, dois a dois". A epopeia de Gilgamesh certamente quis transmitir uma ideia parecida. A história judaica de Noé nada mais é do que a lenda de Utnapashtim recontada. Trata-se de um conto popular que se difundiu e atravessou os séculos. É comum descobrirmos que lendas aparentemente antigas provêm de outras ainda mais antigas, em geral com alguns nomes e outros detalhes diferentes. E essa lenda, em ambas as versões, termina com o arco-íris.

Tanto na epopeia de Gilgamesh como no Gênesis, o arco-íris é parte importante do mito. O Gênesis especifica que se trata de um arco que Deus pôs no céu como sinal de sua aliança com Noé e seus descendentes.

Há mais uma diferença entre a história de Noé e a narrativa dos sumérios sobre Utnapashtim. Na versão de Noé, Deus estava descontente com os homens porque éramos todos incuravelmente maus. Na história suméríca, o crime da humanidade parece menos grave. Apenas fazíamos tanto barulho que os deuses não conseguiam dormir! Eu, particularmente, acho isso muito engraçado. E o tema da humanidade barulhenta perturbando o sono dos deuses aparece de novo em uma lenda do povo chumash da ilha de Santa Cruz, na costa da Califórnia.

Os chumash acreditavam que haviam sido criados das sementes de uma planta mágica pela deusa Hutash em sua ilha (que na época obviamente não se chamava Santa Cruz, um nome espanhol). Essa deusa era casada com a Serpente do Céu (que nós chamamos de Via Láctea e podemos ver em noites bem escuras quando estamos no campo, mas não na cidade, por causa da poluição luminosa). O povo da ilha tornou-se muito numeroso e, como na epopeia de Gilgamesh, muito barulhento. Hutash não conseguia dormir à noite com tanta algazarra. Mas, em vez de matar todo mundo, como o deus sumérico e o judaico, Hutash foi mais bondosa. Decidiu que algumas pessoas deveriam se mudar de Santa Cruz para o continente, onde ela não poderia ouvi-las. Por isso, fez uma ponte para que as pessoas transpusessem o mar. E essa ponte era... isso mesmo, um arco-íris!

O mito tem um desfecho curioso.

Quando estavam atravessando a ponte de arco-íris, algumas das pessoas barulhentas olharam para baixo e ficaram tão apavoradas com a altura que tiveram vertigem.

Despencaram do arco-íris, caíram no mar e se transformaram em golfinhos.

A ideia do arco-íris como ponte aparece em outras mitologias. Em antigos mitos nórdicos (vikings), ele era uma frágil ponte usada pelos deuses quando viajavam do mundo celeste para a Terra.

Para muitos povos da Pérsia, da África ocidental, da Malásia, da Austrália e da América, por exemplo, o arco-íris é uma grande serpente que sobe do chão para beber a chuva.

Como começam essas lendas? Quem será que as inventa, e por que algumas pessoas acabam acreditando que coisas assim aconteceram mesmo? Essas questões são fascinantes e respondê-las não é fácil. Mas há uma pergunta a que podemos responder: o que é *realmente* um arco-íris?

A verdadeira magia do arco-íris

QUANDO EU TINHA uns dez anos, levaram-me a Londres para assistir à peça *Onde termina o arco-íris.* As crianças inglesas de hoje provavelmente nunca a viram, pois o enredo é de um patriotismo que saiu de moda no mundo do espetáculo. A peça fala sobre como é especial ser inglês, e no ponto alto da aventura as crianças são salvas por são Jorge, o padroeiro da Inglaterra (mas não do Reino Unido, pois Escócia, País de Gales e Irlanda têm cada qual seu padroeiro). O que ficou mais vivo na minha memória não foi são Jorge, e sim o arco-íris. As crianças iam até o lugar onde ele começava e os espectadores as viam andando no trecho onde se encontrava com o chão. Era um truque cênico bem bolado, com refletores coloridos projetando luz sobre a névoa, e as crianças andavam de um lado para o outro no meio dele, absolutamente deslumbradas. Acho que era mais ou menos nesse momento que são Jorge aparecia de armadura brilhante e capacete prateado, e a meninada na plateia prendia a respiração quando as crianças da peça gritavam:

"São Jorge! São Jorge! São Jorge!".

Mas era o arco-íris em si que arrebatava minha imaginação. Que são Jorge, que nada! Maravilhoso mesmo seria estar ao pé de um arco-íris gigante!

Você percebeu de onde o autor da peça tirou essa ideia? Um arco-íris aparenta mesmo ser um objeto palpável, pairando lá em cima, a alguns quilômetros de nós. Parece ter o pé esquerdo num milharal, por exemplo, e o direito (se tivermos a sorte de ver um arco-íris completo) no alto de um morro. Temos a impressão de que é possível ir até lá e pisar no ponto onde o arco-íris sai do chão, como as crianças da peça. Os mitos que descrevi contêm essa ideia. Neles o arco-íris é um objeto definido, em um lugar definido, a uma distância definida.

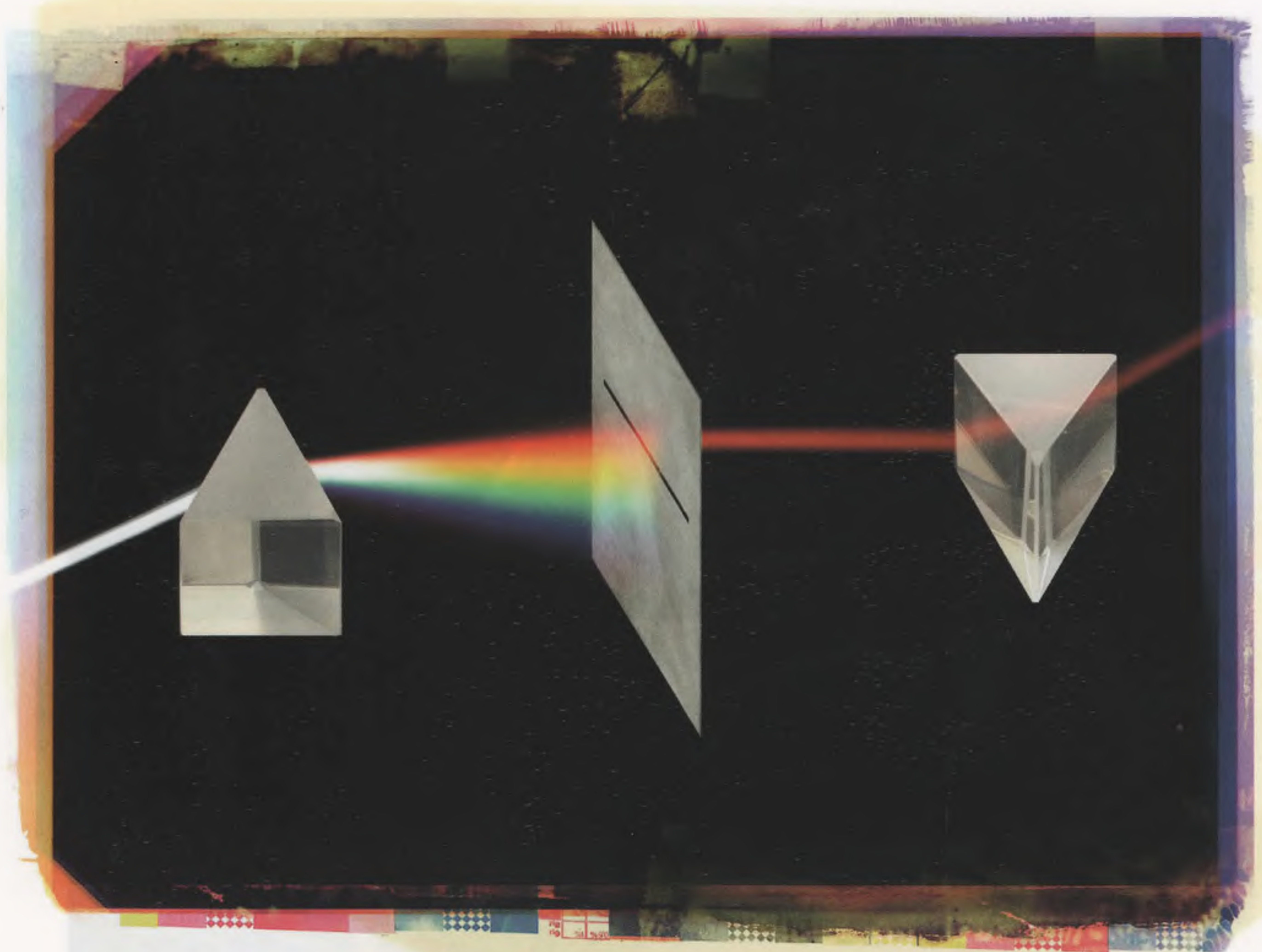
Bem, você provavelmente já deduziu que a verdade não é essa! Primeiro, se tentar se aproximar de um arco-íris, por mais rápido que corra, nunca o alcançará: ele se distanciará até desaparecer gradualmente. Não podemos pegá-lo. No entanto, ele não se distancia de verdade, porque não se encontra em nenhum lugar específico. É uma ilusão, mas uma ilusão fascinante, e entendê-la nos revela muitas coisas interessantes. Abordaremos algumas delas no próximo capítulo.

Do que é feita a luz

Primeiro, precisamos compreender o que é um espectro. Sua descoberta aconteceu no tempo do rei inglês Carlos II, há cerca de 350 anos. O responsável foi Isaac Newton, que talvez seja o maior cientista de todos os tempos (ele descobriu muitas outras coisas além do espectro, como vimos no capítulo sobre o dia e a noite). Newton descobriu que a luz branca é na verdade uma mistura de todas as cores. Para um cientista, é isso que significa branco.

Como Newton chegou a essa conclusão? Ele fez um experimento. Primeiro, vedou seu quarto para impedir totalmente a entrada de luz. Em seguida, abriu uma fresta na cortina para deixar entrar um feixe de luz branca fino como um lápis. Fez com que o feixe de luz atravessasse um prisma, que é um pedaço de vidro quase triangular.

Um prisma espalha os feixes de luz que o atravessam. E os feixes que emergem dele não são mais brancos. São multicoloridos, como um arco-íris. Isaac Newton deu um nome ao arco-íris que obteve em seu experimento: espectro. Vamos ver como ele funciona.

Quando um feixe luminoso viaja pelo ar e atinge um vidro, ele muda de direção. Esse desvio chama-se refração. A refração não é causada apenas pelo vidro, mas também pela água, e essa informação será importante quando voltarmos a falar do arco-íris. É a refração que faz um remo parecer torto quando introduzido no rio. Portanto, a luz muda o ângulo de sua trajetória quando atinge o vidro ou a água. Mas agora vem o mais importante. Esse ângulo é ligeiramente diferente conforme a cor da luz. A luz vermelha desvia-se em um ângulo mais agudo do que a azul. Assim, se a luz branca realmente for uma mistura de luzes coloridas, como Newton supôs, o que acontecerá quando você desviar a luz através de um prisma? A luz azul se inclinará mais do que a vermelha, portanto elas se separarão uma da outra quando emergirem do outro lado. E as luzes amarela e verde sairão em ângulos intermediários aos das outras duas. O resultado é o espectro de Newton: todas as cores do arco-íris, dispostas na mesma ordem: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta.

Newton não foi o primeiro a obter um arco-íris com um prisma. Outros já haviam chegado ao mesmo resultado. Mas muitos pensaram que o prisma, por alguma razão, "coloria" a luz branca, como se lhe acrescentasse uma tinta. A ideia de Newton foi bem diferente. Ele supôs que a luz branca era uma mistura de todas as cores e que o prisma apenas as separava. Newton estava certo, e provou isso com dois experimentos. Primeiro, pegou seu prisma e pôs uma estreita abertura no caminho dos feixes coloridos que saíam dele, de modo que apenas um feixe — digamos, o de luz vemelha — passasse através dessa fenda. Em seguida, pôs outro prisma no caminho desse estreito feixe de luz vermelha. O segundo prisma desviava a luz, como de hábito. Mas o que saiu dele foi apenas luz vermelha. Nenhuma outra cor foi adicionada, o que teria acontecido caso o papel dos prismas fosse adicionar cor. O resultado que Newton obteve foi exatamente o que havia suposto, confirmando sua teoria de que a luz branca é uma mistura de luzes de todas as cores.

O segundo experimento ficou conhecido como o Experimentum Crucis de Newton (o que em latim significa "experimento crucial") — mas poderíamos também chamá-lo de "o experimento que acaba com a discussão". Era ainda mais engenhoso que o primeiro, e nele Newton usou três prismas.

À esquerda, na figura acima, vemos luz branca saindo de uma fresta na cortina de Newton e atravessando o primeiro prisma, que a divide em todas as cores do arco-íris. Essas cores passam então por uma lente que as aproxima antes que atravessem o segundo prisma de Newton. Ele tem o efeito de fundir novamente as cores do arco-íris numa luz branca única. Só isso já provava a hipótese do cientista. Mas, para ter certeza, ele fez o feixe de luz branca atravessar um terceiro prisma, que por sua vez tornou a dividir o branco nas cores do arco-íris! Uma demonstração mais completa é impossível, e ela prova definitivamente que a luz branca é mesmo uma mistura de todas as outras cores.

Como as gotas de chuva fazem o arco-íris

Muito bem, então os prismas fazem tudo isso, mas quando a gente vê um arco-íris no céu não existe um prisma gigante lá em cima. Mas existem milhões de gotas de chuva. Então cada gota age como um minúsculo prisma? Mais ou menos.

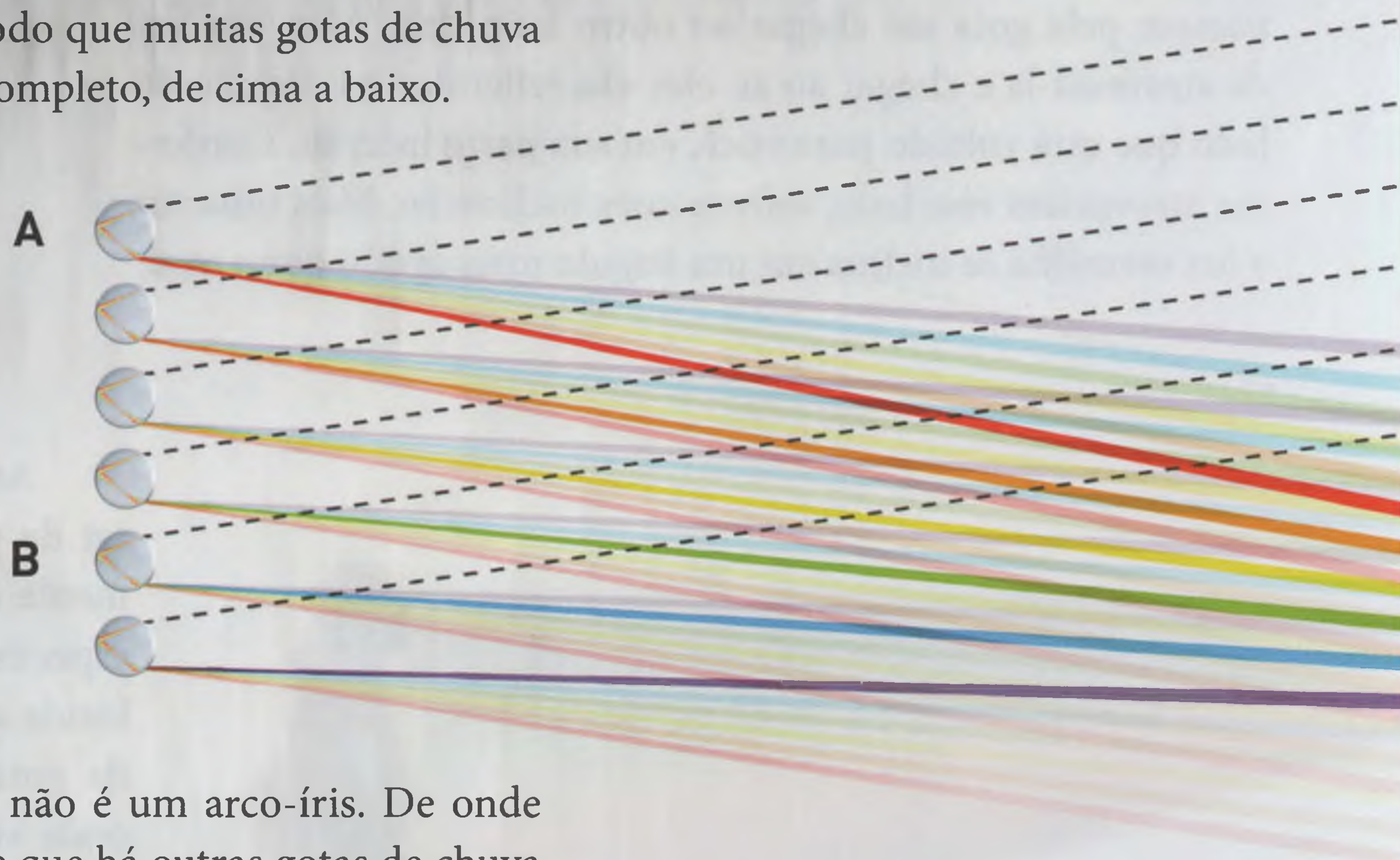
Para ver um arco-íris, é preciso que o sol esteja *atrás* de você quando olhar para a chuva. Cada gota parece mais uma bolinha do que um prisma, e a luz, quando atinge uma bola, se comporta de modo diferente do que quando incide em um prisma. O lado oposto da gota d'água acaba agindo como um minúsculo espelho, e é por isso que precisamos do sol atrás de nós se quisermos ver um arco-íris. A luz dá um salto mortal dentro de cada gota de chuva e é refletida obliquamente para baixo, chegando então aos nossos olhos.

Vejamos como funciona. O sol está atrás e para cima de você, que olha para a chuva caindo à distância. A luz solar atinge uma gota (é claro que ela atinge muitas outras também, mas chegaremos a essa parte). Vamos chamar essa gota específica de A. O feixe de luz branca atinge A na superfície superior mais próxima de você e ali sofre uma inclinação, exatamente como aconteceu na superfície mais próxima no prisma de Newton. Como você já sabe, a luz vermelha se inclina menos que a azul, e assim o espectro vai se formando. Todos os feixes coloridos passam pela gota até chegar ao outro lado dela. Mas, em vez de atravessá-la e chegar ao ar, eles são refletidos na direção do lado que está voltado para você, em sua parte inferior. Conforme atravessam esse lado, sofrem nova inclinação. Mais uma vez a luz vermelha se inclina em um ângulo mais agudo que a azul.

Assim, quando o raio de luz solar sai da gota de chuva, ele foi devidamente distribuído em um pequenino espectro. Os raios separados de luz colorida que mudaram de direção dentro da gota de chuva voltam agora para onde você se encontra. Se seus olhos estiverem no caminho do feixe de luz verde, por exemplo, você verá luz verde pura. Já alguém mais baixo do que você poderá ver apenas o feixe vermelho proveniente de A. E alguém mais alto que você poderia ver unicamente o feixe azul.

Ninguém vê o espectro inteiro a partir de uma só gota de chuva. Cada um de vocês veria apenas uma cor pura. No entanto, todos afirmariam estar vendo um arco-íris, com todas as cores. Por quê? Bem, até agora falamos de uma única gota de chuva, que chamamos de A. Existem milhões de outras gotas, e todas se comportam de modo parecido. Enquanto você olha para o feixe de luz vermelha de A, existe outra gota, B, que está mais abaixo. Você não vê o feixe vermelho saído dela porque ele está na altura do seu estômago, mas o feixe azul está no lugar exato para atingir seus olhos. Há outras gotas abaixo de A e acima de B, e seus feixes amarelo ou verde incidem em seus olhos. É desse modo que muitas gotas de chuva juntas fornecem um espectro completo, de cima a baixo.

A

B

Mas uma linha completa não é um arco-íris. De onde vem o resto? Não se esqueça de que há outras gotas de chuva espalhadas por toda a área onde a chuva cai, em todas as alturas. Elas completam o arco-íris para você. A propósito, cada arco-íris que vemos está tentando ser um círculo completo, com nossos olhos no centro dele — como aquele arco-íris circular que você às vezes vê quando está regando o jardim com uma mangueira e o sol atravessa a água borrifada. A única razão de geralmente não vermos o círculo completo é que o chão fica no caminho.

É por isso que você vê um arco-íris diferente a cada fração de segundo. Na fração seguinte, todas as gotas de chuva caem numa posição. A caiu para onde estava B, portanto você vê o feixe azul de A em vez de seu feixe verde; você não pode ver nenhum dos feixes de B (mas o cachorro a seus pés pode); uma nova gota (C, cujos feixes você antes não podia ver) caiu para o lugar onde estava A, e você enxerga seu feixe vermelho.

É por isso que um arco-íris parece estar parado, embora as gotas d'água que o produzem estejam sempre em queda.

Comprimentos de onda

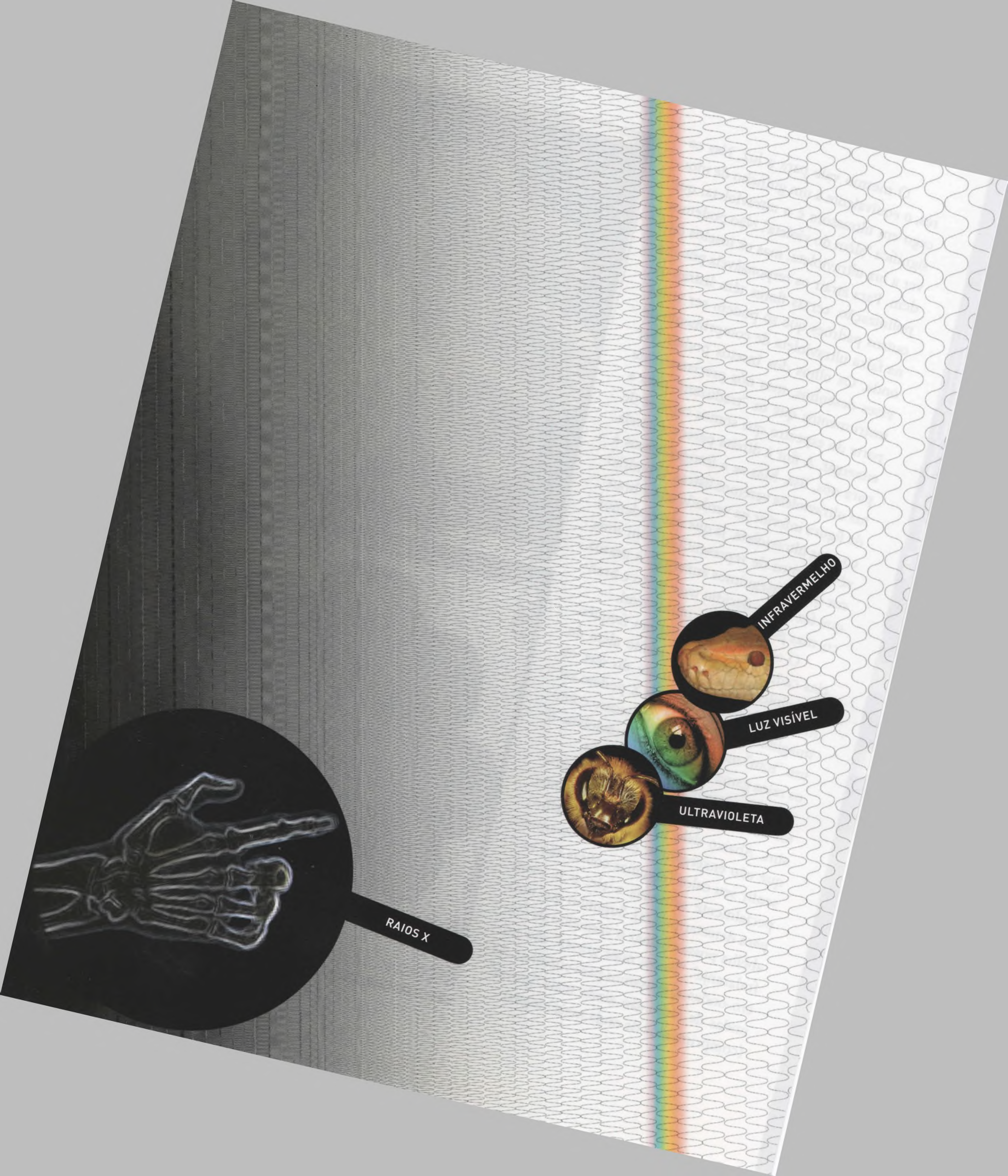
Vejamos agora o que realmente é o espectro, a série de cores na seguinte ordem: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. O que faz a luz vermelha ser refratada em um ângulo mais fechado que a luz azul?

Podemos imaginar a luz como ondas. Assim como o som é causado por vibrações do ar, a luz consiste no que chamamos de vibrações eletromagnéticas. Não tentarei explicar o que são porque demoraria muito (e não tenho certeza de que entendo bem disso). O importante aqui é que, embora a luz seja muito diferente do som, podemos falar em vibrações de alta frequência (comprimento de onda curto) e de baixa frequência (comprimento de onda longo) para ambos. O som agudo — a voz de uma soprano — é produzido por vibrações de alta frequência e comprimento de onda curto. Os sons de baixa frequência e comprimento de onda longo são graves, como a voz do baixo. No caso da luz, o vermelho (comprimento de onda longo) é o baixo; o amarelo é o barítono; o verde é o tenor; o azul é o contralto; o violeta (comprimento de onda curto) é a soprano.

Existem sons (chamados de ultrassom) que são agudos demais para podermos ouvir. Os morcegos podem ouvi-los e usam os ecos para se localizar. Também há sons (chamados de infrassom) que não podemos ouvir porque são baixos demais. Elefantes, baleias e outros animais usam sons desse tipo para se comunicar. As notas mais baixas em um grande órgão de igreja são tão graves que quase não podemos ouvi-las. Temos a impressão de "senti-las" em vibrações por todo o corpo. O conjunto dos sons que nós, humanos, podemos ouvir está situado em uma faixa de frequência intermediária, entre o ultrassom, que é alto demais para nós, e o infrassom, que é grave demais.

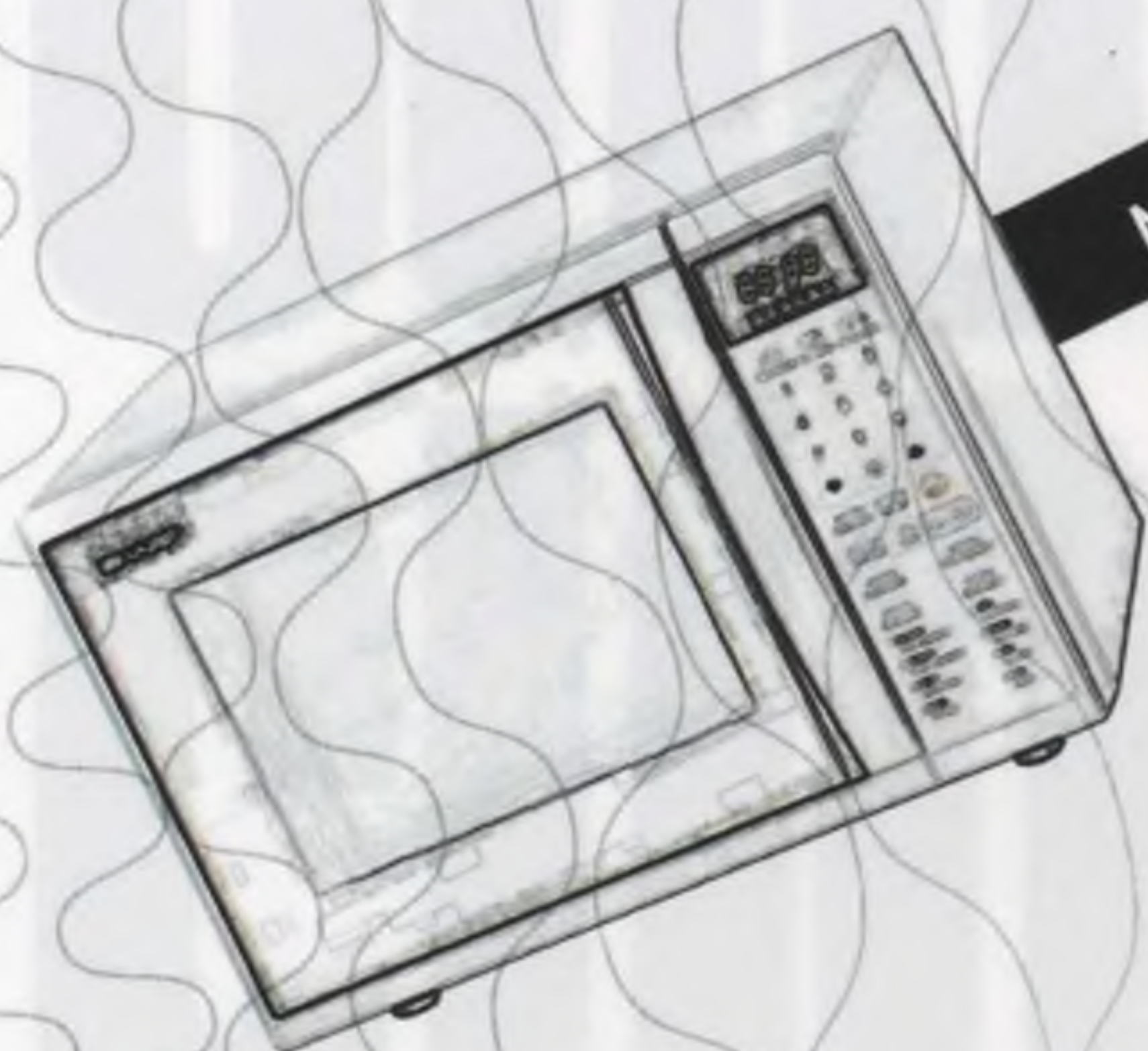
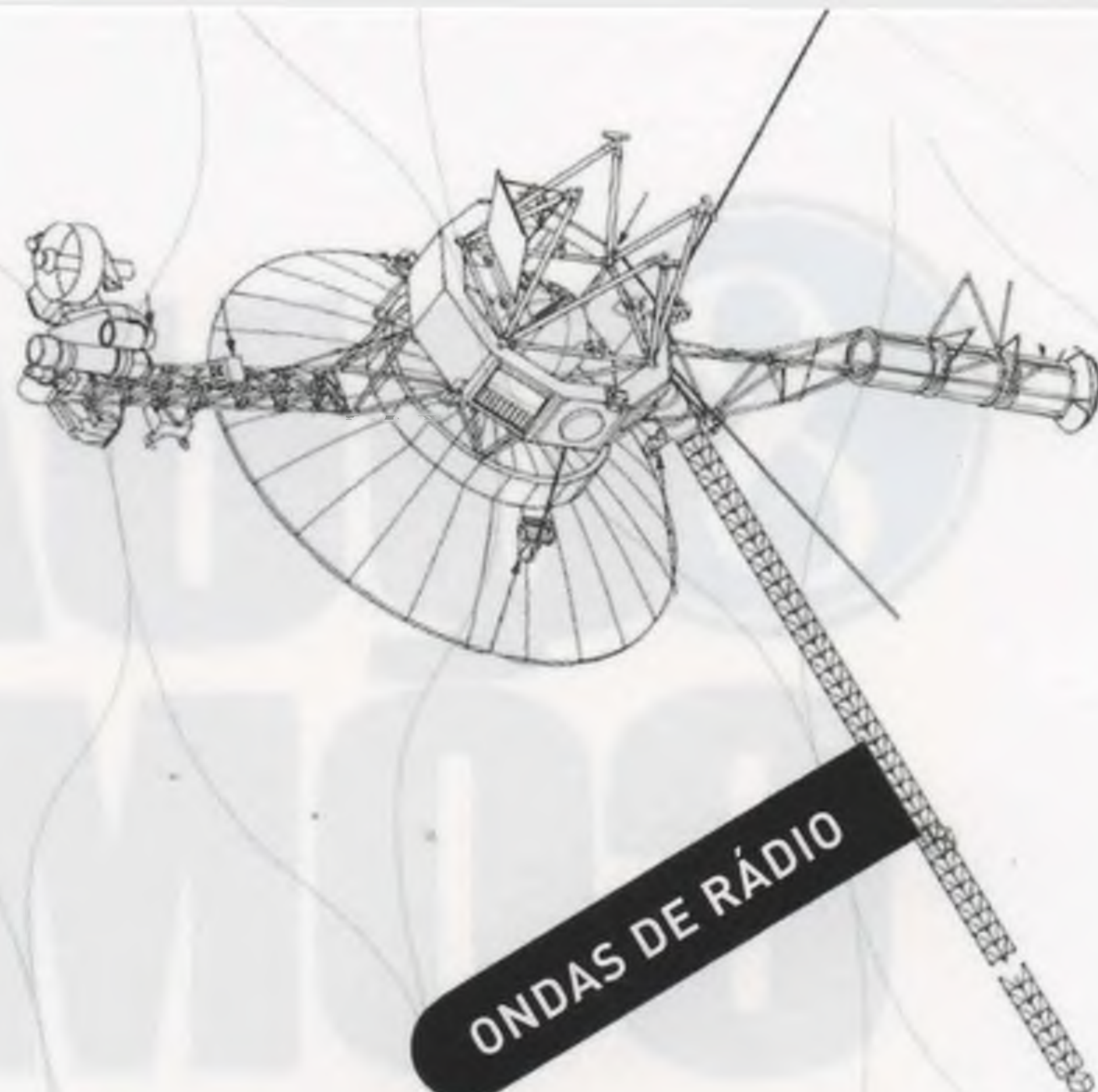
O mesmo vale para a luz. Nas cores, o equivalente a um guincho de morcego em ultrassom é o ultravioleta, que significa "além do violeta". Não podemos ver a luz ultravioleta, mas os insetos podem. Para atrair os responsáveis por sua polinização, certas flores têm listras ou outros padrões que só podem ser vistos na faixa ultravioleta de comprimento de onda. Os olhos dos insetos podem ver esses desenhos, mas nós precisamos de instrumentos que os "traduzam" para a parte do espectro que somos capazes de enxergar. A flor à direita parece amarela para nós, lisa. Mas se a fotografarmos à luz ultravioleta veremos listras. O padrão da figura inferior na verdade não é branco, mas ultravioleta. Já que não podemos vê-lo, temos de representá-lo com uma cor que conseguimos enxergar. A pessoa que fez a foto decidiu usar preto e branco, mas poderia ter escolhido azul.

O espectro prossegue em frequências cada vez mais altas, muito além do ultravioleta, muito além até do que os insetos enxergam. Os raios X podem ser imaginados como "luz" ou mesmo como um "tom" mais alto que o ultravioleta. E os raios gama são ainda mais altos.

Do outro lado do espectro, os insetos não enxergam o vermelho, mas nós, sim. Abaixo dele há o "infravermelho", que não enxergamos, embora possamos sentir seu calor (algumas cobras são especialmente sensíveis a ele, e o usam para detectar presas). Suponho que uma abelha possa chamar o vermelho de "infralaranja". "Notas mais graves" são micro-ondas, que usamos para cozinhar. As ondas de rádio são ainda mais "graves" (comprimentos de onda mais longos).

INFRAVERMELHO

LUZ VISÍVEL

ULTRAVIOLETA

RAIOS X

MICRO-ONDAS

ONDAS DE RÁDIO

É surpreendente que a luz que os humanos podem enxergar — o espectro ou "arco-íris" de cores visíveis entre o relativamente "agudo" violeta e o relativamente "grave" vermelho — seja uma minúscula faixa de um imenso espectro que vai dos raios gama no extremo agudo às ondas de rádio no extremo grave. Quase todo o espectro é invisível aos nossos olhos.

O Sol e as estrelas bombardeiam raios eletromagnéticos em todas as faixas de frequência ou "tons", das ondas de rádio na ponta do "baixo" até os raios cósmicos na ponta da "soprano". Embora não enxerguemos fora da pequena faixa de luz visível do vermelho ao violeta, temos instrumentos capazes de detectar esses raios. A foto da supernova no capítulo 6 foi tirada usando raios X emitidos por ela. As cores na foto são falsas, como a que usamos para mostrar o desenho da flor. Na foto da supernova, falsas cores foram escolhidas para designar diferentes comprimentos de ondas de raios X. Os cientistas chamados radioastrônomos tiram "fotografias" de estrelas usando ondas de rádio em vez de ondas de luz ou raios X. O instrumento que eles empregam chama-se radiotelescópio. Outros cientistas fotografam o céu da outra ponta do espectro, na faixa dos raios X. Aprendemos coisas diferentes sobre as estrelas e sobre o universo recorrendo a partes distintas do espectro. O fato de que nossos olhos só podem ver através de uma minúscula fresta no meio do vasto espectro e de que só podemos ver uma estreita faixa da imensa variedade de raios que os instrumentos científicos detectam é uma esplêndida ilustração do poder da ciência para despertar nossa imaginação, um magnífico exemplo da magia da realidade.

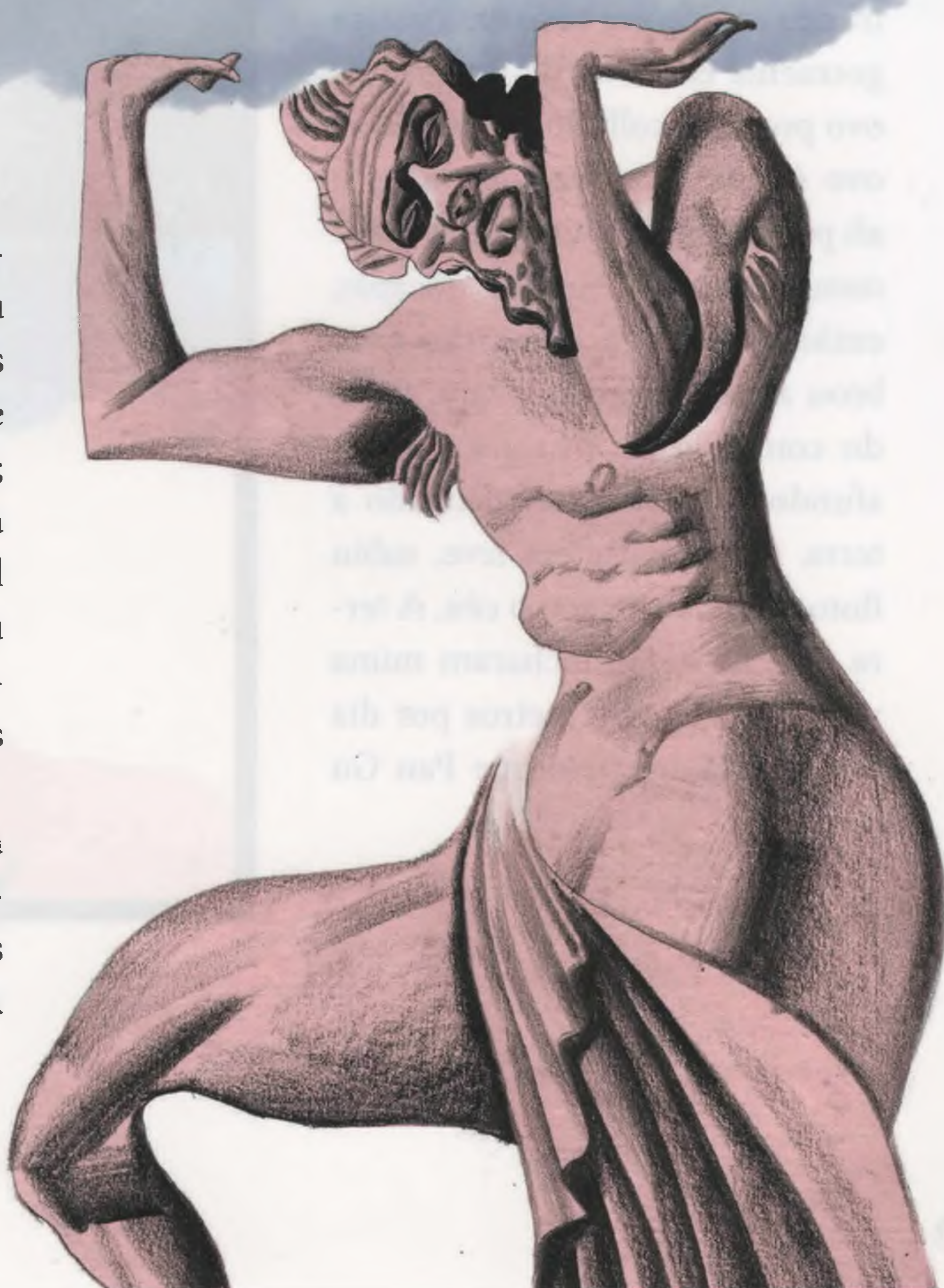
No próximo capítulo aprenderemos algo ainda mais fascinante a respeito dos arco-íris. Separar em um espectro a luz proveniente de uma estrela distante pode nos dizer não só do que essa estrela é feita, mas também que idade ela tem. E são dados desse tipo — evidências que resultam do arco-íris — que nos permitem calcular a idade do universo e quando tudo começou. Pode parecer improvável, mas no próximo capítulo você verá que não é.

8 QUANDO E COMO TUDO COMEÇOU?

COMECEMOS COM um mito africano de uma tribo banta do Congo, os boshongos. No princípio não havia terra, apenas escuridão, água e, muito importante, o deus Bumba. Esse deus começou a se sentir mal e vomitou o sol. A luz do astro dissipou as trevas e seu calor secou boa parte das águas, aparecendo então a terra firme. Bumba, ainda passando mal, vomitou a lua, as estrelas, os animais e as pessoas.

Muitos mitos de origem chinesa envolvem um personagem chamado Pan Gu, às vezes retratado como um gigante peludo com cabeça de cão. Vejamos um dos mitos envolvendo Pan Gu. No princípio, não havia distinção entre céu e terra: era tudo uma massa gosmenta em volta de um grande ovo preto. Encolhido dentro desse ovo estava Pan Gu, que dormira ali por 18 mil anos. Quando finalmente acordou, ele quis escapar, então pegou seu machado, quebrou a casca do ovo e saiu. Parte do conteúdo do ovo era pesada, afundou e acabou se tornando a terra. Outra parte era leve, subiu flutuando e se tornou o céu. A terra e o céu então incharam numa proporção de três metros por dia dos 18 mil anos em que Pan Gu dormiu.

Em algumas versões da história, Pan Gu empurrou o céu e a terra para separá-los, ficou exausto com o esforço e morreu. Vários pedaços dele transformaram-se então no universo que conhecemos. Sua respiração tornou-se o vento; sua voz, o trovão; seus olhos tornaram-se a lua e o sol; seus músculos viraram terra cultivável e suas veias se tranformaram em estradas. Seu suor tornou-se a chuva; seus cabelos, as estrelas. Os humanos descendem das pulgas e dos piolhos que viviam em seu corpo.

Essa história de Pan Gu é bem parecida com o mito grego de Atlas, que também segurava o céu (curiosamente, as imagens e estátuas de Atlas costumam representá-lo carregando a Terra inteira em vez do céu).

Agora, um dos muitos mitos indianos sobre a origem do mundo. Antes do princípio do tempo, havia um imenso vazio em forma de um oceano escuro, com uma serpente gigantesca enrolada na superfície. Nas espirais da serpente dormia o senhor Vishnu. Um dia, Vishnu acordou com um zumbido grave vindo do fundo do vazio oceânico, e um pé de lótus cresceu do seu umbigo. No meio da flor estava sentado Brahma, seu servo. Vishnu ordenou a Brahma que criasse o mundo, e ele obedeceu. Sem problemas! E, já que estava com a mão na massa, criou todos os seres vivos também. Moleza!

O que me decepciona em todos esses mitos sobre a origem é que eles começam pressupondo a existência de algum tipo de ser vivo antes que o próprio universo surgisse — Bumba, Brahma ou Pan Gu, Unkulukulu (o criador dos zulus), Abassie (Nigéria) ou "O Velho no Céu" (da tribo de nativos americanos do Canadá salish). Você não acha que algum tipo de universo teria de vir primeiro, para fornecer um lugar para o espírito criador poder trabalhar? Nenhum desses mitos explica como foi que o criador do universo (e geralmente é um criador, e não uma criadora) veio a existir.

Com isso, ficamos na mesma. Vejamos então o que sabemos a respeito da verdadeira história de como o universo começou.

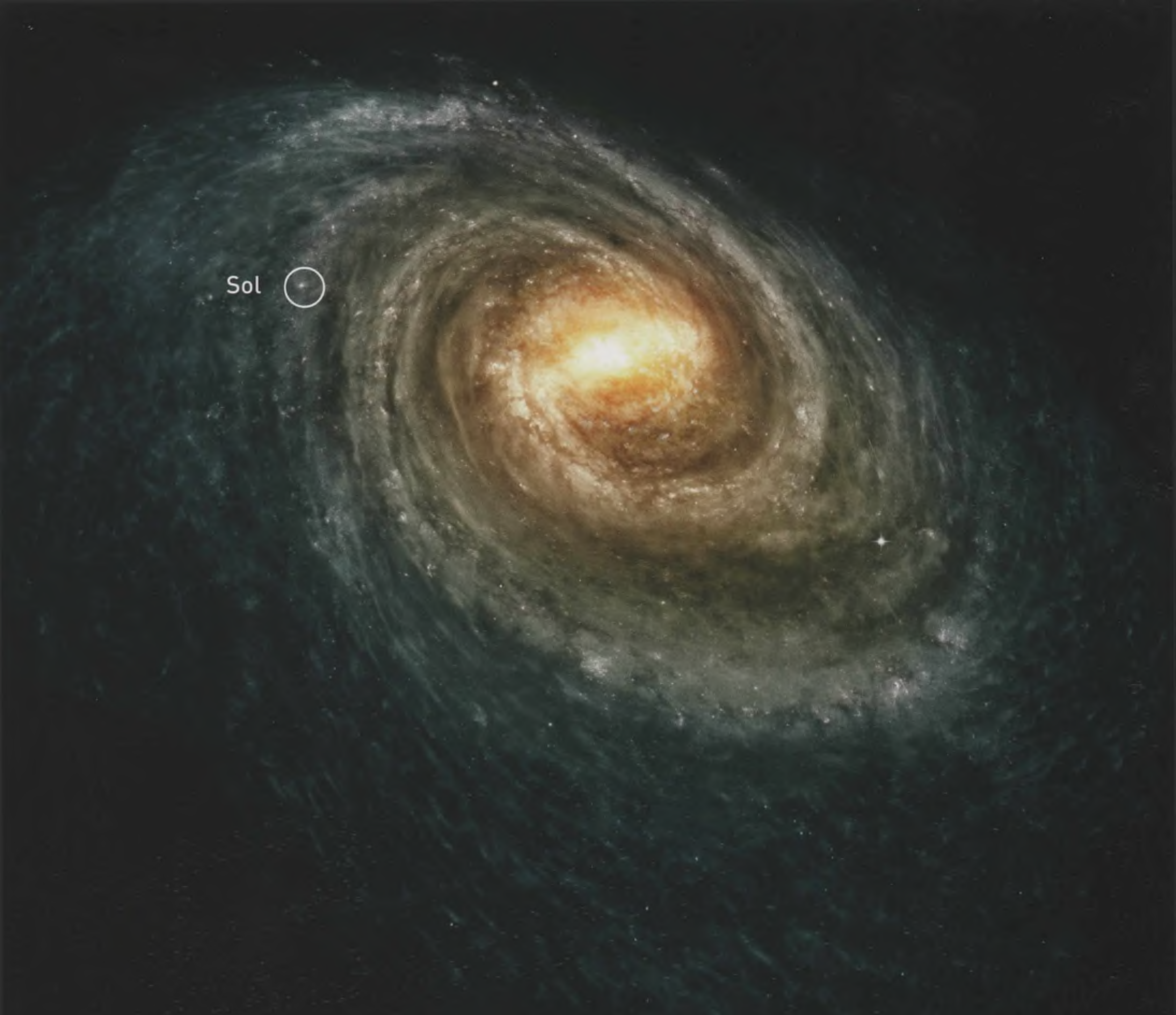
COMO TUDO REALMENTE COMEÇOU?

VOCÊ se lembra, do capítulo 1, que os cientistas trabalham criando "modelos" de como poderia ser o mundo real? Em seguida, testam cada um fazendo predições de coisas que deveríamos ver ou medições que deveríamos ser capazes de fazer, se o modelo for correto. Em meados do século XX havia dois modelos rivais para explicar como surgiu o universo: o modelo do estado estacionário" e o modelo do Big Bang. O modelo do estado estacionário era bem interessante, mas por fim se revelou errado — ou seja, foi demonstrado que as predições baseadas nele eram falsas. Segundo esse modelo, nunca houve um princípio: o universo sempre existiu em uma forma bem parecida com a atual. O modelo do Big Bang, por sua vez, supõe que o universo começou em um momento definido no tempo, com um estranho tipo de explosão. As predições feitas com base no modelo do Big Bang têm se revelado verdadeiras, e por isso hoje ele costuma ser aceito pela maioria dos cientistas.

Segundo a versão moderna do modelo do Big Bang, todo o universo observável começou com uma explosão que ocorreu entre 13 e 14 bilhões de anos atrás. Mas por que falo em "observável"? Com "universo observável" pretendo reunir todas as coisas para as quais temos evidências. É possível que existam outros universos que sejam inacessíveis a nossos sentidos e instrumentos. Alguns cientistas conjecturam, talvez com um excesso de imaginação, que pode haver um "multiverso" — uma "espuma" borbulhante de universos, dos quais o nosso é apenas uma "bolha". Pode ser também que o universo observável — aquele no qual vivemos, o único para o qual temos evidências diretas — seja o único universo que existe. Independentemente de como for, neste capítulo eu me limitarei ao universo observável. Ele parece ter começado no Big Bang, e esse evento notável aconteceu há pouco menos de 14 bilhões de anos.

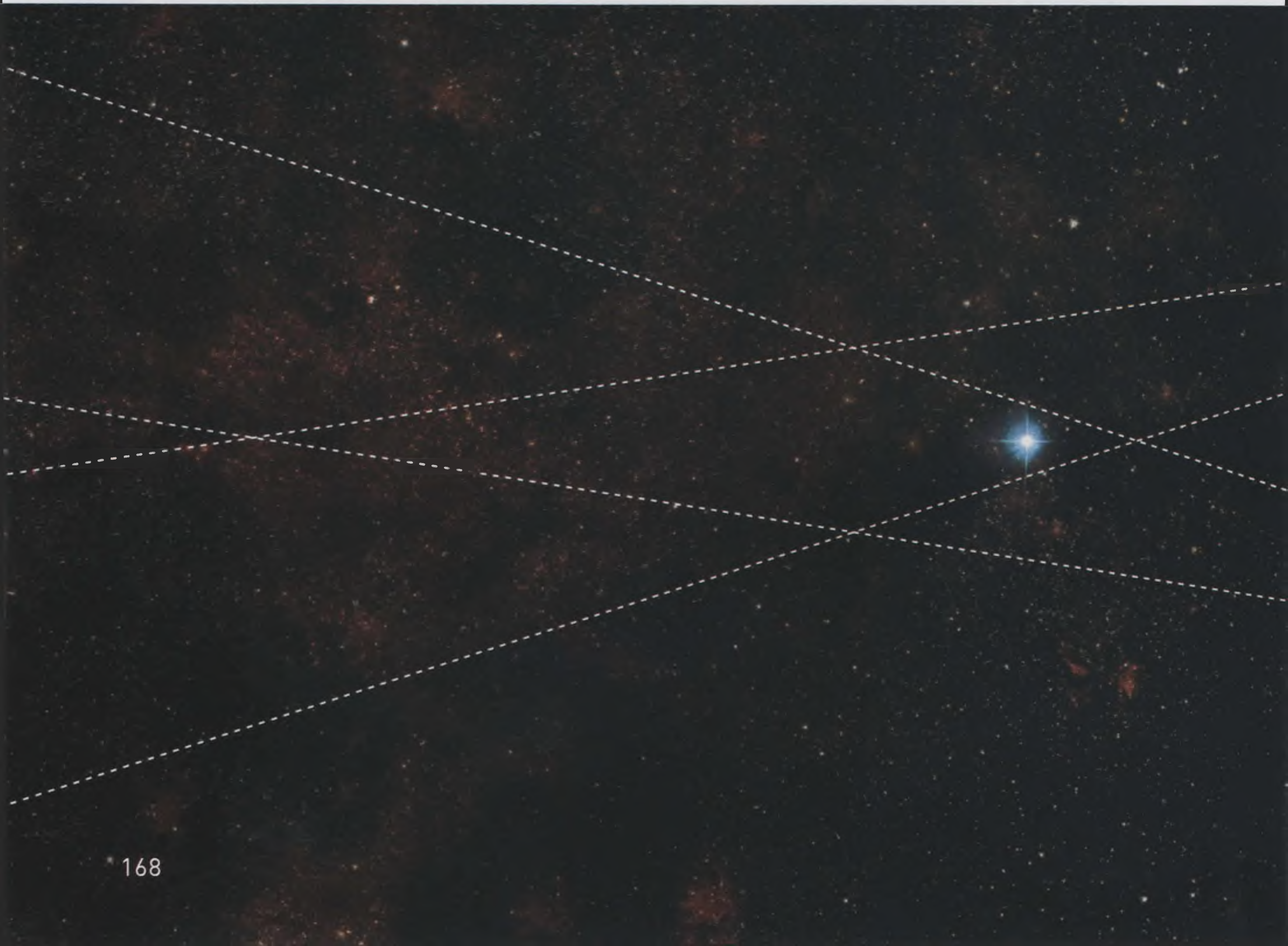
Alguns cientistas afirmam que o próprio tempo começou no Big Bang e que é tão despropositado perguntar o que aconteceu antes dele quanto perguntar o que existe ao norte do polo Norte. Não entendeu? Nem eu. O que eu entendo, mais ou menos, são as evidências de que o Big Bang aconteceu e em um momento determinado.

Primeiro preciso explicar o que é uma galáxia. Já vimos, em nossa analogia com as bolas de futebol no capítulo 6, que as estrelas estão separadas entre si por imensas distâncias se comparadas aos planetas que orbitam nosso Sol. Porém, apesar de muito distanciadas, elas são reunidas em grupos, chamados galáxias. Eis uma imagem de quatro galáxias:

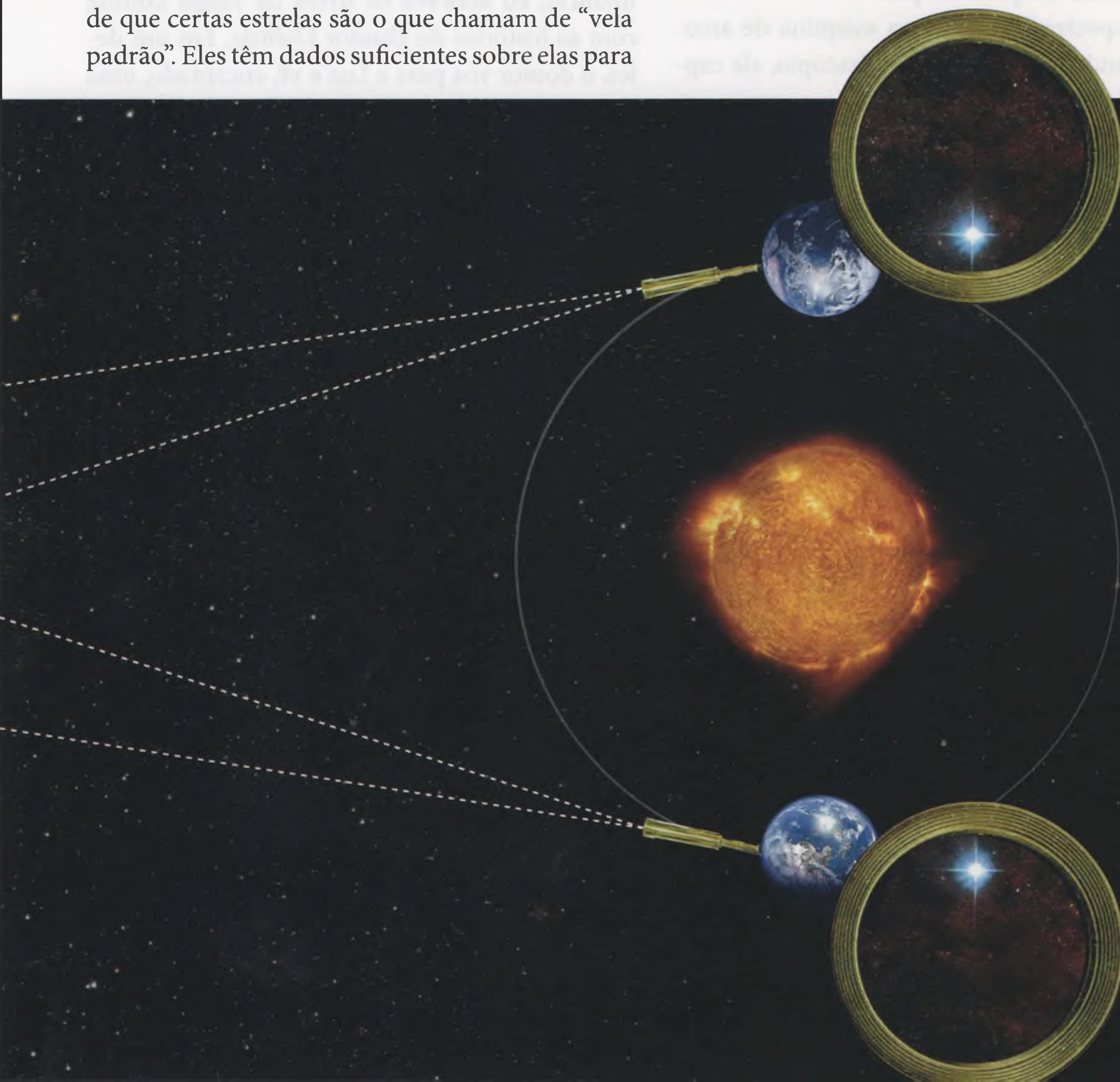
Cada uma aparece como um torvelinho esbranquiçado que, na verdade, é composto de bilhões de estrelas e de nuvens de poeira e gás.

Nosso Sol é apenas uma das estrelas que compõem nossa galáxia. A Via Láctea foi batizada assim porque em noites escuras a parte dela que vemos é uma extremidade que dá a impressão de ser um misterioso caminho branco no céu. Poderíamos confundi-la com uma nuvem longa e rarefeita antes de perceber o que realmente é — e quando isso acontece ficamos até arrepiados. Como estamos na Via Láctea, nunca podemos vê-la em toda a sua glória, mas na ilustração acima o artista retratou-a como seria vista de fora e marcou nossa posição nela. Está indicada como "Sol", porque nessa escala não existe distância significativa entre o Sol e seus planetas.

Veja agora uma imagem de centenas de galáxias (à direita). Essa é uma fotografia de verdade, tirada por um telescópio. Cada galáxia é um gigantesco aglomerado de bilhões de estrelas, exatamente como a Via Láctea. Sempre fico espantado quando olho para essa imagem e penso que cada manchinha de luz é uma galáxia inteira, comparável à nossa. Apesar de espantoso, esse é um fato inquestionável. O universo — nosso universo observável — é um lugar muito grande.

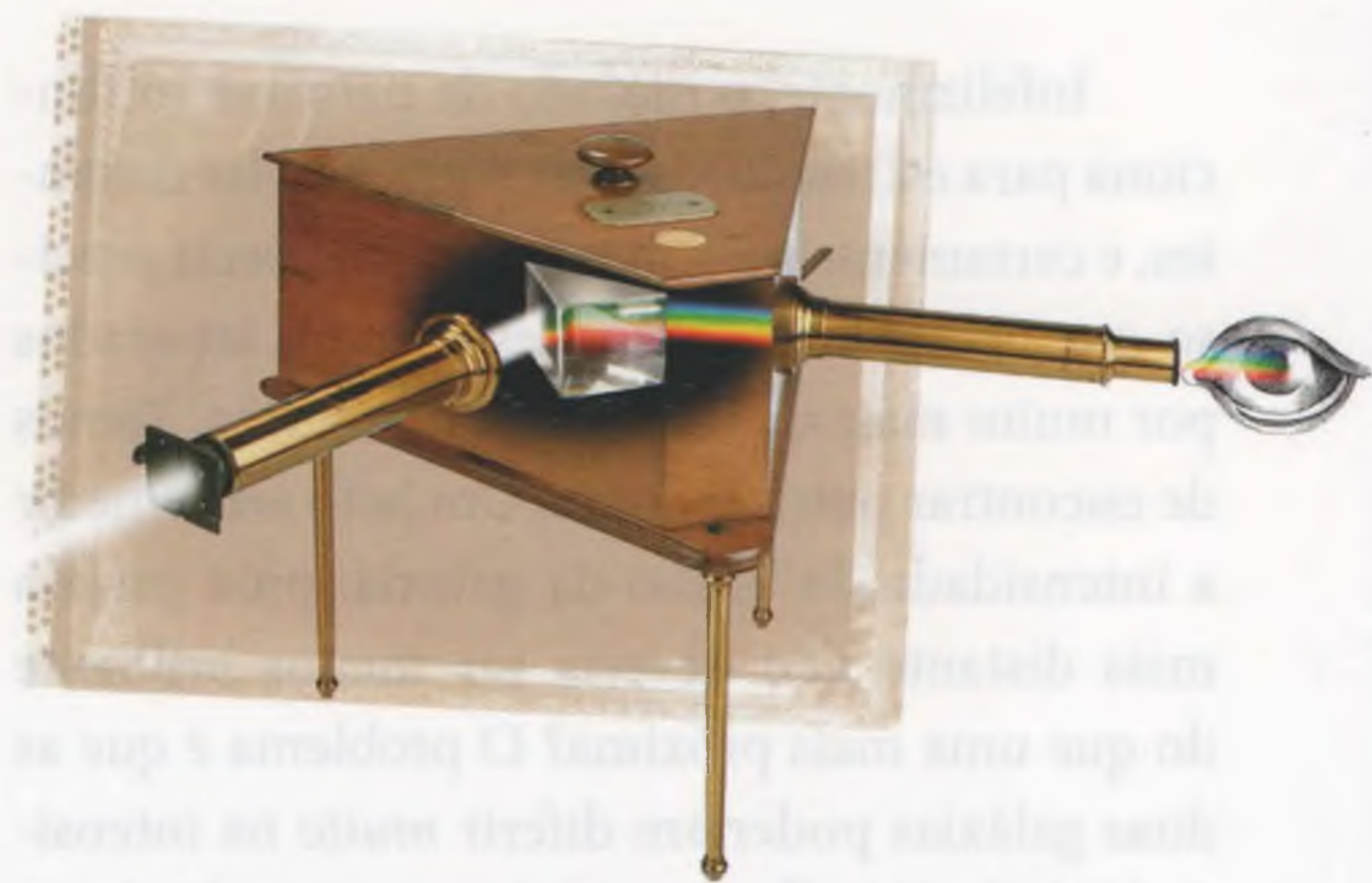
Outra coisa importante é que podemos medir a distância que nos separa de cada galáxia. Como? Aliás, como sabemos a distância entre as coisas no universo? Para as estrelas mais próximas, o melhor método que temos usa o que chamamos de "paralaxe". Erga seu dedo diante do rosto e olhe para ele com o olho esquerdo fechado. Agora abra o olho esquerdo e feche o direito. Continue trocando os olhos e notará que a posição aparente do seu dedo fica saltando de um lado para outro. Isso se deve à diferença entre os pontos de vista dos dois olhos. Aproxime mais o dedo do rosto e os saltos serão maiores. Afaste os dedos e eles diminuirão. Tudo o que você precisa saber é a que distância estão seus olhos, e poderá calcular a distância dos olhos ao dedo pelo tamanho dos saltos. É assim que se usa o método da paralaxe para estimar distâncias.

Agora, em vez de olhar para o dedo, olhe para uma estrela no céu, fechando ora um olho, ora outro. Ela não saltará. Está distante demais. Para fazer uma estrela "saltar" de um lado para o outro, seus olhos teriam de estar separados por milhões de quilômetros! Como podemos obter um efeito equivalente ao de alternar olhos separados por milhares de quilômetros? Aproveitando o fato de a órbita da Terra em torno do Sol ter um diâmetro de aproximadamente 300 mil quilômetros. Medimos a posição de uma estrela próxima, tendo outras estrelas como pano de fundo. Seis meses depois, quando a Terra estiver do lado oposto de sua órbita, voltamos a medir a posição aparente da estrela. Se for uma estrela bem próxima, sua posição aparente terá "saltado". A partir do comprimento do salto, é fácil calcular a que distância a estrela se encontra.

Infelizmente, o método da paralaxe só funciona para estrelas próximas. Para estrelas distantes, e certamente para outras galáxias, seria preciso que nossos dois "olhos" estivessem separados por muito mais que 300 mil quilômetros. Temos de encontrar outro método. Um jeito seria medir a intensidade do brilho da galáxia: uma galáxia mais distante não deveria ser menos brilhante do que uma mais próxima? O problema é que as duas galáxias poderiam diferir *muito* na intensidade de brilho. É como estimar a que distância está uma vela acesa. Algumas chamas de vela são mais brilhantes que outras. Como saber, então, se estamos olhando para uma vela brilhante e distante ou para uma menos brilhante e próxima?

Felizmente, os astrônomos têm evidências de que certas estrelas são o que chamam de "vela padrão". Eles têm dados suficientes sobre elas para saber qual é a intensidade do seu brilho antes que comece sua longa jornada até nossos telescópios — não o brilho que enxergamos, mas sua luminosidade real, a intensidade de sua luz (poderia ser de seus raios X ou qualquer outro tipo de radiação que conseguimos medir). Também sabem como identificar essas "velas" especiais. Assim, sempre que são capazes de encontrar pelo menos uma delas numa galáxia, os astrônomos podem usá-la, com a ajuda de cálculos matemáticos, para estimar a que distância a galáxia se encontra.

Temos, portanto, o método da paralaxe para medir distâncias bem curtas e uma "escada" de vários tipos de velas-padrão que podemos usar para medir um conjunto de distâncias cada vez maiores, chegando a galáxias muito distantes.

Arco-íris e deslocamento

Agora sabemos o que é uma galáxia e como calcular a que distância de nós está. Para a próxima etapa, precisamos usar o espectro luminoso, descrito no capítulo 7. Uma vez, pediram que eu escrevesse um texto para um livro em que cientistas convidados deveriam dizer qual achavam que era a invenção mais importante de todos os tempos. Foi divertido, mas, como cheguei atrasado, todas as invenções óbvias já haviam sido escolhidas: a roda, a prensa tipográfica, o telefone, o computador etc. Decidi então falar sobre um instrumento que provavelmente ninguém teria escolhido e que sem dúvida é importantíssimo, muito embora poucas pessoas já o tenham usado (confesso que nunca o usei): o *espectroscópio*.

O espectroscópio é uma máquina de arco-íris. Quando acoplado a um telescópio, ele capta a luz de uma estrela ou galáxia e a separa em um espectro, como Newton fez com o prisma. Só que ele é mais refinado que isso, pois permite fazer medições exatas ao longo do espectro da luz estelar. Medições do quê? O que há para medir em um arco-íris? Pois agora é que começa a ficar realmente interessante. A luz de diferentes estrelas produz "arcos-íris" que diferem de modos muito característicos, e isso pode nos revelar muito a respeito das estrelas.

Quer dizer que a luz das estrelas possui cores que nunca vimos na Terra? Não. Você já viu aqui na Terra todas as cores que seus olhos são capazes de enxergar. Ficou decepcionado? Eu fiquei, quando me dei conta disso pela primeira vez. Na infância, eu adorava os livros de Hugh Lofting com as histórias do Doutor Dolittle. Em um deles, o doutor voa para a Lua e vê, encantado, uma enorme variedade de cores novas, jamais vistas por olhos humanos. Eu achava o máximo. Para mim, era um símbolo da suposição emocionante de que a Terra podia não ser um exemplo típico de tudo o que há no universo. Infelizmente, embora a ideia fosse interessante, não era verdadeira — *não podia ser*. Sabemos disso graças à descoberta de Newton de que as cores que vemos estão contidas na luz branca e são reveladas quando ela é separada por um prisma. Não existem cores fora do conjunto a que estamos habituados. Os artistas podem criar um sem-número de tons e matizes, mas são combinações das cores básicas que compõem a luz branca. As cores que vemos em nossa

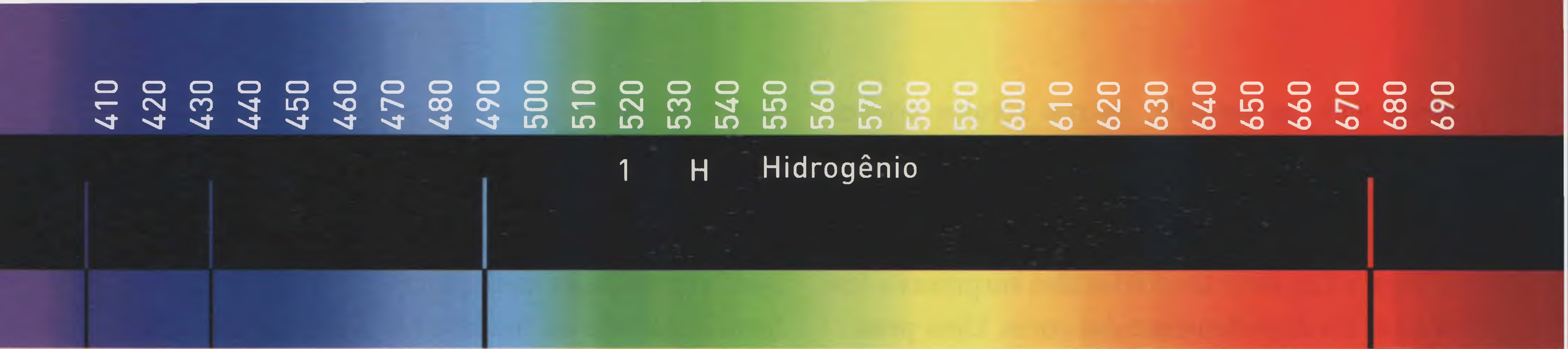
cabeça são, na verdade, apenas rótulos criados pelo cérebro para identificar a luz de diferentes comprimentos de onda, e encontramos todo o conjunto de comprimentos de onda aqui na Terra. Nem a Lua nem as estrelas têm surpresas a nos oferecer no departamento das cores. Uma pena.

Então o que eu quis dizer quando afirmei que as estrelas produzem arcos-íris com diferenças que podemos medir com um espectroscópio? Acontece que, quando a luz de uma estrela é separada pelo espectroscópio, estranhos padrões de linhas pretas e finas aparecem em lugares muito específicos no espectro. Ou às vezes as linhas não são pretas, e sim coloridas, e o fundo é preto (uma diferença que explicarei daqui a pouco). O padrão de linhas lembra um código de barras, como aqueles que vemos nas lojas para identificar as mercadorias quando passamos no caixa. As estrelas têm arcos-íris iguais. O que difere é o padrão das linhas vistas no espectro de cada uma. E esse padrão é um tipo de código de barras, pois nos diz muito a respeito da estrela e de que é feita.

Não é só a luz das estrelas que possui esse "código de barras". As luzes da Terra também, por isso conseguimos investigar em laboratório o que o produz e descobrimos que são diferentes *elementos*. O sódio, por exemplo, apresenta linhas destacadas na parte amarela do espectro. A luz de sódio (produzida por um arco elétrico em vapor de sódio) é amarelada. Os cientistas físicos entendem o porquê, mas eu não, pois sou um cientista biólogo que não compreende a teoria quântica.

Quando eu era menino e estudava em Salisbury, no sul da Inglaterra, fascinava-me ver o boné vermelho de meu uniforme escolar se transformar quando eu passava sob a luz amarela das lâmpadas de rua. Ele se tornava marrom amarelado. O mesmo acontecia com os ônibus vermelhos. Isso porque, como muitas cidades inglesas da época, Salisbury usava lâmpadas de vapor de sódio na iluminação das ruas. Esse tipo de lâmpada emite luz apenas nas estreitas regiões do espectro abrangidas pelas linhas características do sódio, e suas linhas mais brilhantes aparecem mais na faixa amarela. Para todos os efeitos, as luzes de sódio brilham com uma luminosidade amarela, muito diferente da luz solar ou da luz vagamente amarelada de uma lâmpada elétrica comum. Como quase não havia vermelho na luz fornecida por aquelas lâmpadas, nenhuma luz vermelha podia ser refletida no meu boné. Se você agora está se perguntando o que é que faz um ônibus ou um boné ser vermelho, saiba que as moléculas da tinta absorvem a maior parte da luz de todas as cores, exceto vermelho. Assim, sob a luz branca, que contém todos os comprimentos de onda, a luz vermelha é a mais refletida. Sob as lâmpadas de vapor de sódio da iluminação de rua não há luz vermelha a ser refletida — daí a cor marrom amarelada.

410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690

1 H Hidrogênio

O sódio é apenas um exemplo. Você deve se lembrar, do capítulo 4, de que cada elemento tem seu número atômico exclusivo, dado pelo número de prótons em seu núcleo (que também é o número de elétrons em sua órbita). Pois bem: por razões ligadas às órbitas dos elétrons, cada elemento tem seu efeito exclusivo sobre a luz, exclusivo como um código de barras... De fato, um código de barras é uma ótima comparação para o que é o padrão de linhas no espectro da luz estelar. O jeito de saber quais dos 92 elementos que ocorrem na natureza estão presentes em uma estrela é separar a luz dela com o espectroscópio e examinar as linhas do código de barras do espectro.

Na internet, há um site onde você pode escolher qualquer elemento e ver seu código de barras espectral: <http://bit.ly/MagicofReality2>. Basta selecionar na barra deslizante o elemento que deseja ver. Eles estão dispostos na ordem dos números atômicos, a partir do hidrogênio.

Por exemplo, no alto da página vemos a imagem do hidrogênio, o elemento 1 (porque tem apenas um próton). Você pode ver que ele produz quatro barras, uma na parte violeta do espectro, uma na parte azul-escura, uma na azul-clara e uma na vermelha (os comprimentos de onda das cores ficam na parte superior da figura).

Para entender as figuras nesse site, precisamos esclarecer dois detalhes que poderiam gerar confusão. Primeiro, repare nos dois modos como as barras aparecem: como linhas coloridas sobre um fundo preto (na parte superior da figura) e como linhas pretas sobre um fundo colorido (na parte inferior da figura). São chamados espectro de emissão (as linhas coloridas sobre fundo preto) e espectro de absorção (pretas sobre colorido). Qual deles obteremos depende de o elemento em questão estar luminoso (como quando o elemento sódio brilha em uma lâmpada de sódio na rua) ou barrando a passagem da luz (como frequentemente ocorre quando um elemento está presente numa estrela). Não discutirei aqui essa distinção. O importante é que as barras aparecem nos mesmos lugares ao longo do espectro em ambos os casos. O padrão de código de barras é o mesmo, para qualquer elemento, independentemente de as linhas serem pretas ou coloridas.

Outro detalhe complicador é o fato de algumas barras serem muito mais proeminentes do que outras. Quando olhamos a luz de uma estrela com um espectroscópio, geralmente vemos apenas as barras que se destacam muito. Esse site, no entanto, mostra todas as linhas, inclusive as mais tênues, que podemos ver no laboratório mas normalmente não se evidenciam na luz estelar. O sódio é um bom exemplo. Para fins práticos, a luz dele é amarela, e suas barras proeminentes aparecem na parte amarela do espectro: você pode esquecer as outras barras, embora seja interessante que elas estejam lá, pois tornam o padrão ainda mais parecido como de um código de barras.

Eis o espectro de emissão do sódio, mostrando as três linhas mais destacadas do código de barras. Veja como o amarelo predomina.

Azul → Vermelho

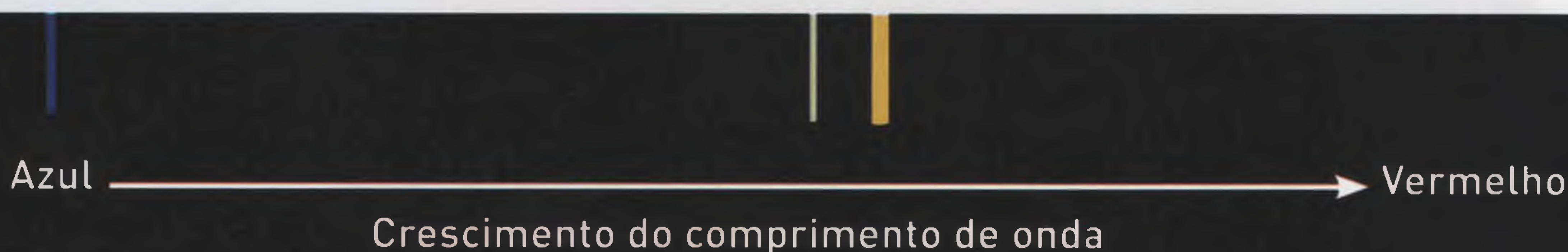
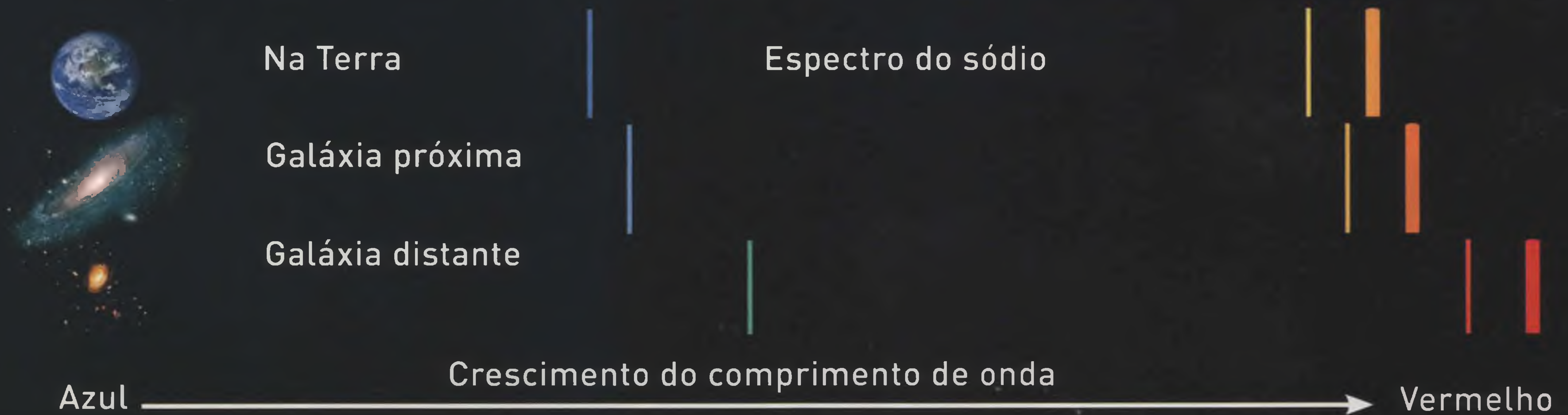
Crescimento do comprimento de onda

Na Terra

Espectro do sódio

Galáxia próxima

Galáxia distante

Azul — Crescimento do comprimento de onda → Vermelho

Portanto, como cada elemento tem um padrão distinto de código de barras, podemos saber quais estão presentes numa estrela examinando sua luz. Isso é difícil, tenho de admitir, pois os códigos de barras de elementos distintos tendem a se amontoar. Mas há modos de separá-los. Que ferramenta maravilhosa é o espectroscópio!

Fica ainda melhor. O espectro do sódio ao pé da página oposta é o que você vê se olhar para a luz de uma lâmpada de rua em Salisbury ou para uma estrela não muito distante. A maioria das estrelas que vemos — por exemplo, as estrelas das constelações do zodíaco — estão em nossa galáxia. E a figura aqui mostrada do espectro da luz do sódio é o que você verá se olhar para qualquer uma delas. Mas, se olhar o espectro do sódio vindo de uma estrela de outra galáxia, obterá uma imagem diferente. No alto desta página vemos o padrão do código de barras da luz do sódio proveniente de três lugares: da Terra (ou de uma estrela próxima), de uma estrela distante em uma galáxia próxima e de uma galáxia muito distante.

Observe primeiro o padrão de código de barras da luz de sódio da galáxia distante (imagem inferior) e compare com o produzido pela luz de sódio na Terra (imagem superior). Você vê o mesmo padrão de barras, separadas pela mesma distância. Só que o padrão está mais próximo do extremo vermelho do espectro. Então como sabemos que se trata do sódio? Porque o padrão das distâncias entre as barras é o mesmo. Isso pode não parecer totalmente convincente se acontecesse apenas com o sódio. Mas é assim com todos os elementos. Vemos o mesmo padrão de espaçamento, característico do elemento escolhido, porém deslocado como um todo no espectro em direção à ponta vermelha. E mais: para qualquer galáxia, todos os códigos de barras mudam a mesma distância ao longo do espectro.

Observe agora a imagem do meio, que mostra o código de barras do sódio na luz de uma galáxia mais próxima de nós do que as galáxias muito distantes de que falei no parágrafo anterior, porém mais distante do que as estrelas na Via Láctea. Você verá um deslocamento intermediário. O padrão de espaçamento é o mesmo, pois ele é a assinatura do sódio, mas não está tão deslocado. A primeira linha está deslocada no espectro para mais longe do azul-escuro, mas não vai até o verde, só até o azul-claro. E as duas linhas no amarelo (que se combinam para produzir a cor das lâmpadas de rua em Salisbury) estão deslocadas na mesma direção, no sentido da ponta vermelha do espectro, porém não alcançam a faixa vermelha. Vão apenas até o começo da laranja.

O sódio é só um exemplo. Qualquer elemento mostra o mesmo deslocamento em direção ao vermelho no espectro. Quanto mais distante a galáxia, maior o deslocamento. É o "deslocamento de Hubble", descoberto pelo grande astrônomo americano Edwin Hubble (que também deu nome, após sua morte, ao telescópio Hubble — o qual foi usado para fotografar as galáxias muito distantes mostradas na página 167). Também é chamado de "deslocamento para o vermelho", pois o deslocamento ocorre na direção dessa cor.

Voltando até o Big Bang

O que significa esse deslocamento para o vermelho? Felizmente, os cientistas entendem bem essa questão. É um exemplo do chamado "desvio Doppler". O desvio Doppler pode ocorrer sempre que houver ondas. E a luz, como vimos no capítulo anterior, consiste em ondas. Ele também é chamado de "efeito Doppler" e estamos mais familiarizados com ele no contexto das ondas sonoras. Quando você está na beira da estrada vendo os carros passarem em alta velocidade, o som do motor de cada um parece tornar-se mais grave à medida que ele se afasta. Você sabe que o tom do motor do carro é constante. Então, por que parece se tornar mais grave? Por causa do efeito Doppler. E a explicação para isso vem a seguir.

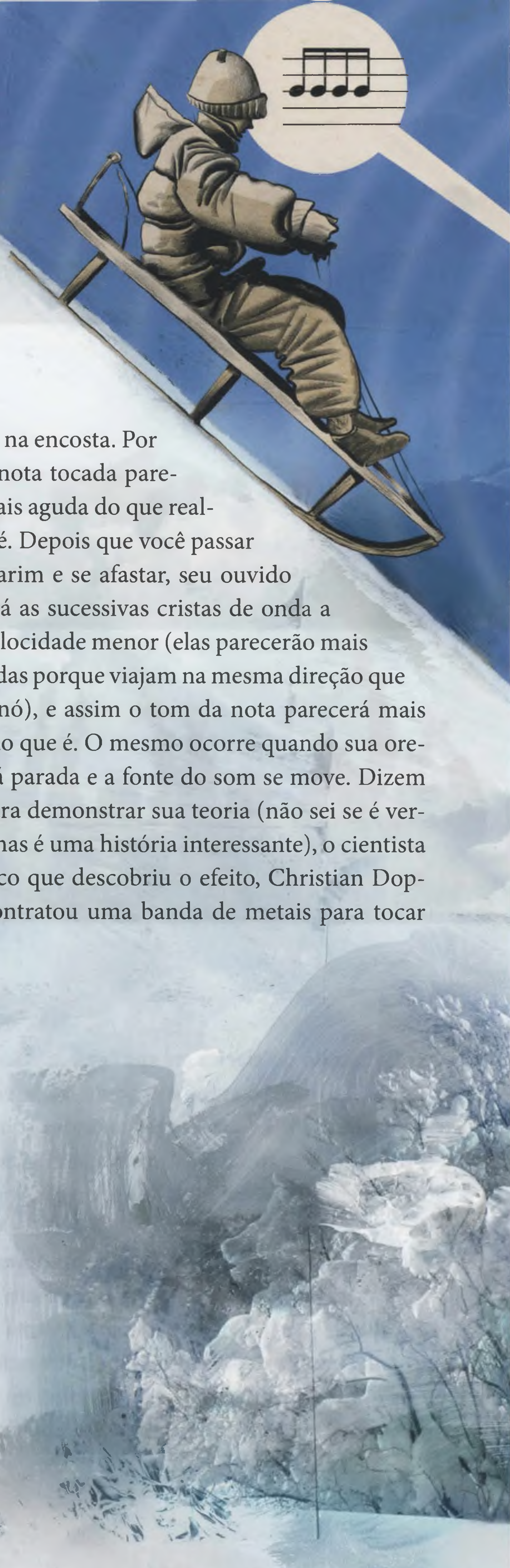
O som viaja pelo ar em forma de ondas de mudança da pressão do ar. Quando você ouve a nota de um motor de carro ou de um clarim, que é mais agradável que o som de um motor, as ondas sonoras viajam pelo ar em todas as direções a partir da origem do som. Sua orelha está numa dessas direções e capta as mudanças na pressão do ar produzidas pelo clarim, que seu cérebro ouve como um som. Não imagine moléculas de

ar flutuando do clarim até sua orelha. Não é nada disso. Isso seria vento, e o vento viaja em uma única direção, ao passo que as ondas sonoras se propagam em todas as direções, como as ondas na superfície de um lago quando você joga uma pedra na água.

O tipo de onda mais fácil de compreender é a "ola" (acima): nas arquibancadas de um grande estádio de futebol, cada pessoa se levanta e senta imediatamente depois de a pessoa que está de um dos lados (o esquerdo, por exemplo) ter feito o mesmo. Uma onda de gente se levantando e sentando dá rapidamente a volta por todo o estádio. Ninguém sai do lugar, mas a onda viaja. Aliás, ela se desloca mais depressa do que uma pessoa poderia conseguir correndo.

O que se propaga no lago é uma onda de mudanças de altura na superfície da água. Ela se constitui uma onda porque as moléculas de água em si não se afastam da pedra. Elas apenas sobem e descem, como as pessoas nos estádios. Nada viaja para longe da pedra. Apenas parece ser assim porque o sobe e desce da água acontece de dentro para fora, com o centro na pedra.

Com as ondas sonoras é um pouco diferente. Nesse caso, o que viaja é uma onda de mudança na pressão do ar. As moléculas de ar movem-se um pouquinho, para a frente e para trás em relação ao clarim ou seja qual for a fonte do som. Ao fazer isso, colidem com moléculas de ar vizinhas e desencadeiam nelas o mesmo movimento. Por sua vez, elas colidem com suas vizinhas, e o resultado é que uma onda de colisão de moléculas — ou seja, uma onda de mudança de pressão — viaja a partir do clarim em todas as direções. E é a onda, e não as moléculas de ar, que viaja do clarim até sua orelha. Ela viaja a uma velocidade fixa, independentemente de a fonte do som ser um clarim, uma voz ou um carro: no ar, a aproximadamente 1200 km/h (quatro vezes mais rápido debaixo d'água e até mais depressa em alguns sólidos). Se você tocar uma nota mais aguda no clarim, a velocidade à qual a onda viaja permanece a mesma, porém a distância entre as cristas de onda (o *comprimento de onda*) diminui. Tocando uma nota grave, as cristas tornam-se mais espaçadas, mas a onda continua viajando à mesma velocidade. Portanto, notas mais agudas têm comprimento de onda mais curto que notas graves.

É isso que as ondas sonoras são. Agora, o efeito Doppler. Imagine que um clarim, numa encosta de montanha coberta de neve, toca uma nota longa. Você passa sentado em um trenó em alta velocidade (escolhi um trenó porque é silencioso e assim você pode ouvir o clarim). O que ouvirá? As sucessivas cristas de onda se afastam do clarim a uma distância definida umas das outras, dada pela nota que o clarim toca. Mas, quando você se aproxima rápido do clarim, sua orelha vai "engolindo" depressa as sucessivas cristas de onda, a uma velocidade maior do que se estivesse parado na encosta. Por isso, a nota tocada parecerá mais aguda do que realmente é. Depois que você passar pelo clarim e se afastar, seu ouvido escutará as sucessivas cristas de onda a uma velocidade menor (elas parecerão mais espaçadas porque viajam na mesma direção que seu trenó), e assim o tom da nota parecerá mais grave do que é. O mesmo ocorre quando sua orelha está parada e a fonte do som se move. Dizem que, para demonstrar sua teoria (não sei se é verdade, mas é uma história interessante), o cientista austríaco que descobriu o efeito, Christian Doppler, contratou uma banda de metais para tocar

num vagão de trem aberto. A música caiu subitamente de tom quando o trem passou pelos ouvintes impressionados.

As ondas de luz são diferentes em mais de um aspecto. Não são bem como uma ola, nem como as ondas sonoras, mas também têm sua versão do efeito Doppler. Lembre-se de que a ponta vermelha do espectro tem comprimento de onda mais longo do que a ponta azul, e o verde está no meio. Suponha que os músicos da banda de Doppler estejam todos de uniforme amarelo. Conforme o trem vem na sua direção, seus olhos "engolem" as cristas de onda a uma velocidade mais alta do que se ele estivesse parado. Ocorre, assim, uma ligeira mudança na cor do uniforme em direção à parte verde do espectro. Mas, quando o trem passa por você e se afasta, o oposto acontece, e o uniforme da banda lhe parecerá um pouco mais avermelhado que antes.

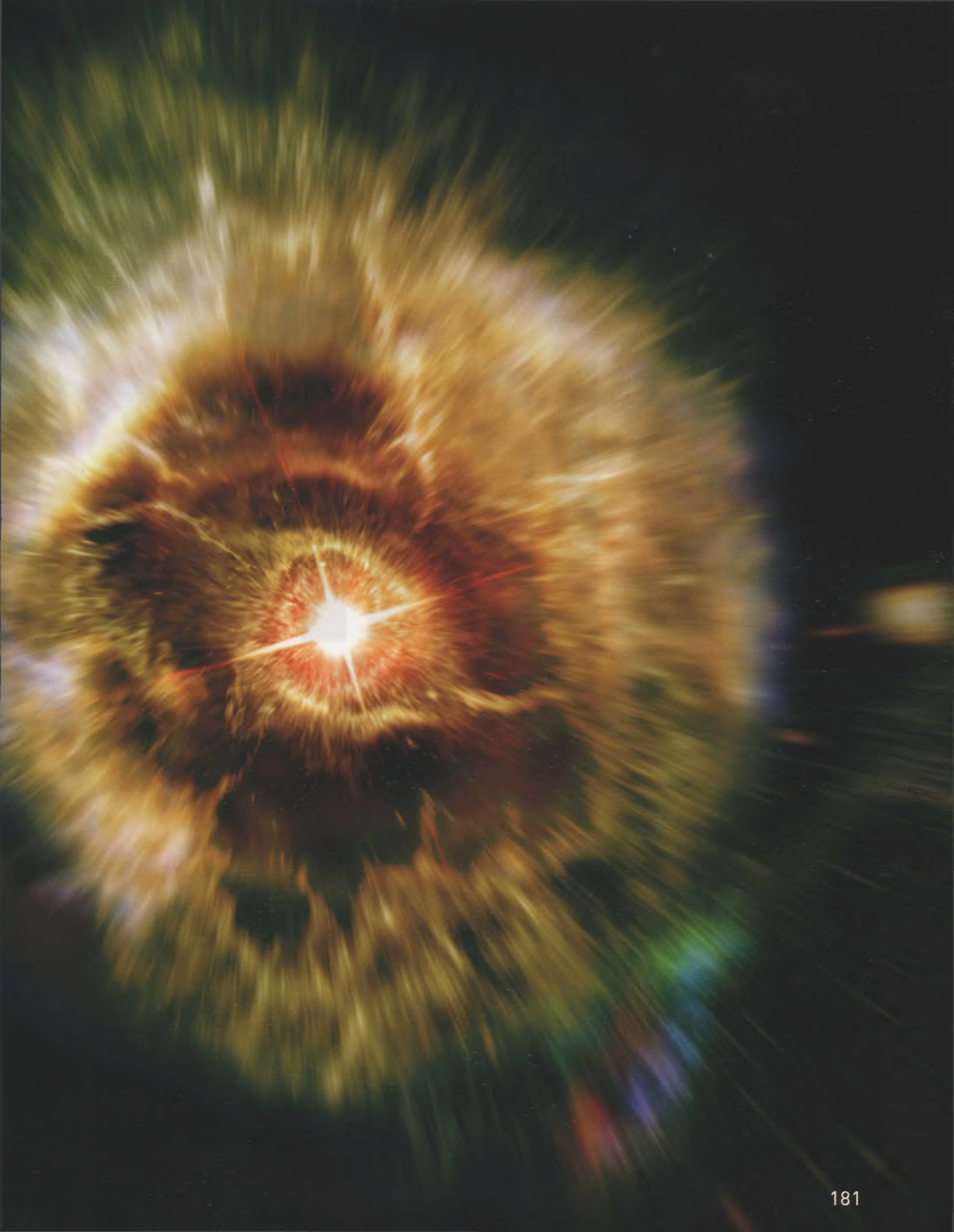
Há apenas uma falha nesse exemplo. Para que você notasse a mudança em direção ao azul ou ao vermelho, o trem teria de estar viajando a milhões de quilômetros por hora. Nenhum trem é veloz o bastante para que o efeito Doppler sobre a cor seja notado. Mas as galáxias são. A mudança em direção ao extremo vermelho do espectro, que você pode ver claramente nas posições das linhas de código de barras do sódio na página 172, demonstram que galáxias muito distantes estão se afastando de nós a centenas de milhões de quilômetros por hora. E, quanto mais distantes estão (distância que é medida pelas "velas padrão" já mencionadas), maior a velocidade desse afastamento (maior o deslocamento para o vermelho).

No universo, todas as galáxias estão se afastando rapidamente umas das outras, portanto também estão se afastando da Terra. Não importa em que direção você aponte seu telescópio, as galáxias mais distantes estão se afastando de nós (e umas das outras) a uma velocidade crescente. Todo o universo, o próprio espaço, está se expandindo a uma velocidade colossal.

Então você poderia perguntar: por que só percebemos a expansão do espaço no nível das galáxias? Por que as estrelas dentro de uma mesma galáxia não se afastam umas das outras? Por que eu e você não nos afastamos um do outro em grande velocidade? A resposta é que, devido à força da gravidade, os agrupamentos de coisas que estão próximas — por exemplo, tudo o que existe em uma galáxia — são atraídos com mais força pelos seus vizinhos. Isso mantém esses corpos agrupados, ao passo que objetos distantes — outras galáxias — se afastam junto com a expansão do universo.

Agora, um fato assombroso. Os astrônomos estudaram essa expansão e calcularam o que ocorreu de frente para trás no tempo. É como se fizessem um filme do universo em expansão, com as galáxias se afastando rápido, e depois rodassem o filme do fim para o começo. Em vez de se afastarem umas das outras, no filme ao contrário as galáxias convergem. E a partir disso os astrônomos podem conjecturar o momento em que a expansão do universo deve ter começado. Podem até calcular quando foi esse momento: mais ou menos entre 13 e 14 bilhões de anos atrás. Esse foi o momento em que o universo começou — o momento que chamamos de

Big Bang.

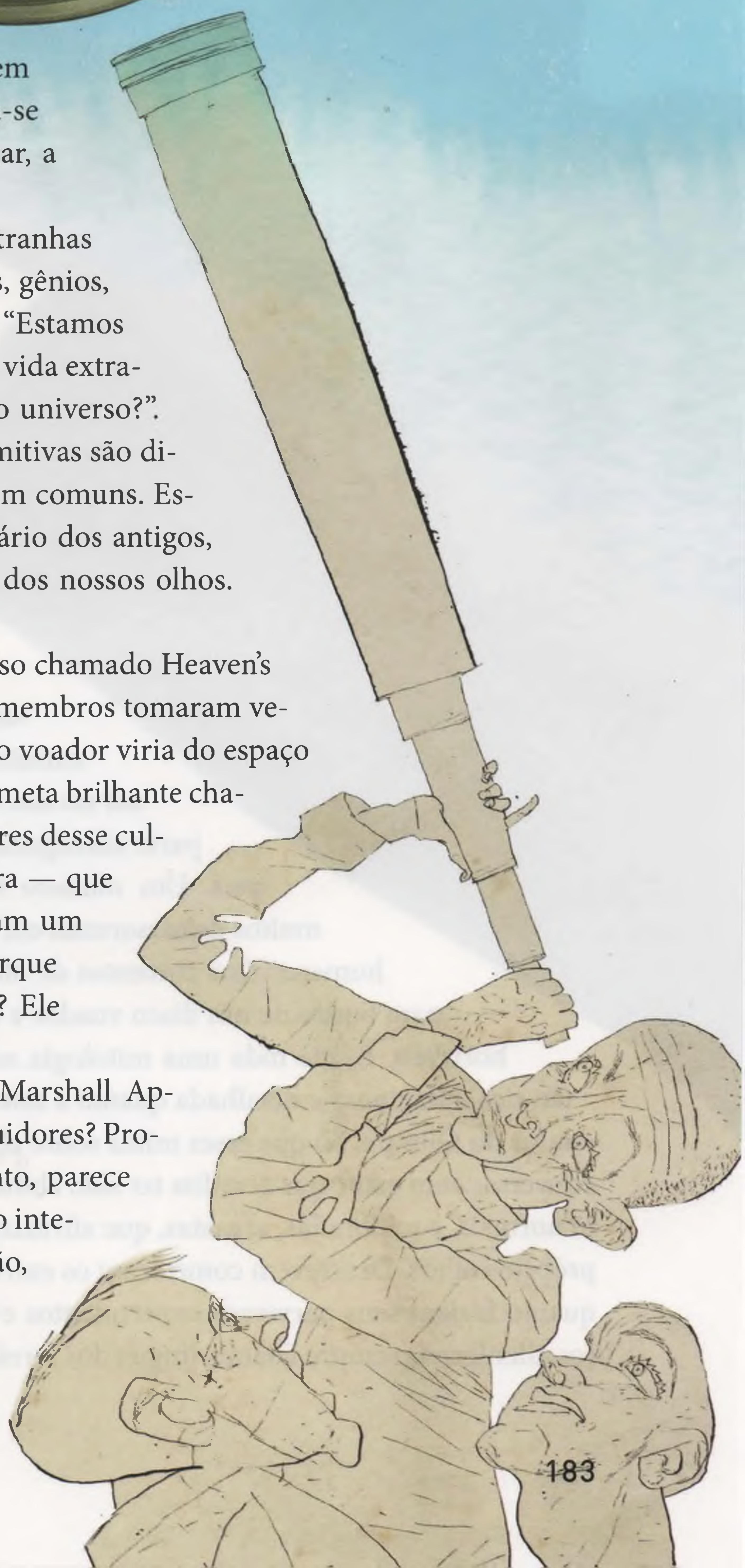
Os atuais "modelos" pressupõem que não foi só o universo que começou com o Big Bang, mas também o tempo e o espaço. Não me peça para explicar isso, pois não sou cosmólogo e não entendo. Mas talvez agora você comprenda por que indiquei o espectroscópio como uma das invenções mais importantes de todos os tempos. O arco-íris não é apenas bonito de se ver. De certa forma, ele nos diz quando tudo começou, inclusive o tempo e o espaço. Para mim, isso o torna ainda mais belo.

9 ESTAMOS SOZINHOS?

ATÉ ONDE SEI, mitos antigos sobre vida em outras partes do universo são raros, se é que existe algum. Talvez porque a própria ideia da existência de um universo imensamente maior do que o nosso mundo seja recente. Só no século XVI cientistas entenderam direito que a Terra orbita o Sol e existem outros planetas. Mas as distâncias e o número de estrelas, sem falar nas outras galáxias, eram desconhecidos até há pouco..Também demoramos a perceber que "para cima" em uma

parte do mundo (por exemplo, Bornéu) é "para baixo" em outra parte (neste caso, o Brasil). Antes disso, pensava-se que "para cima" era a mesma direção em qualquer lugar, a direção da morada dos deuses, "lá no céu".

Há muito tempo existem lendas e crenças sobre estranhas criaturas inumanas em nosso meio: demônios, espíritos, gênios, fantasmas... uma lista e tanto. Mas, quando pergunto "Estamos sozinhos?", o que estou indagando é "Existem formas de vida extraterrestres, vida em outros mundos, em outras partes do universo?". Como eu disse, histórias de alienígenas entre tribos primitivas são difíceis de encontrar. Já entre habitantes da cidade, são bem comuns. Esses mitos modernos são interessantes porque, ao contrário dos antigos, podemos vê-los começar. Mitos são inventados diante dos nossos olhos. Por isso, neste capítulo todos os mitos serão modernos.

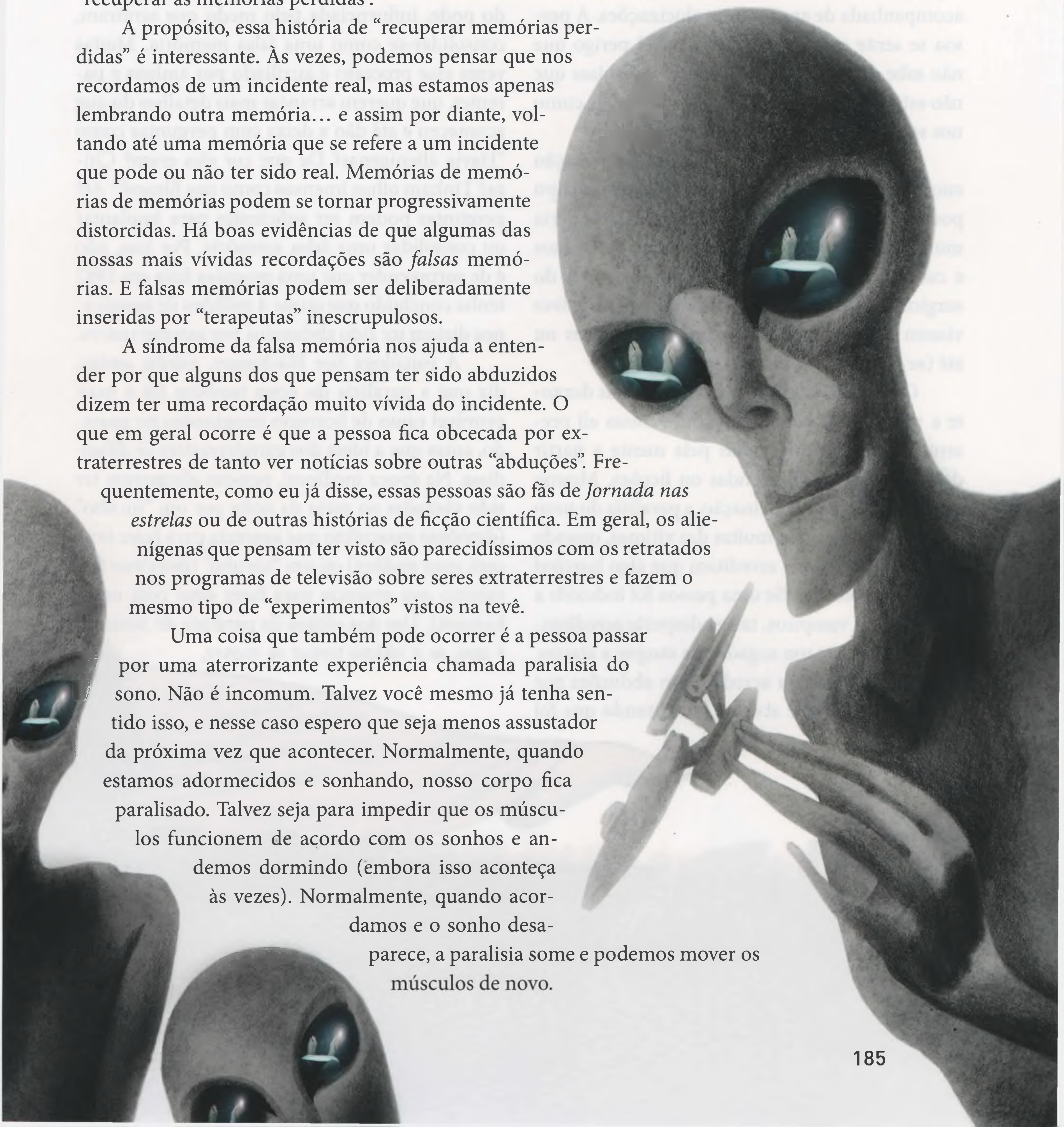
Na Califórnia, em março de 1997, um culto religioso chamado Heaven's Gate [Portal do céu] teve um triste fim quando seus 39 membros tomaram veneno. Eles se mataram porque acreditavam que um disco voador viria do espaço e levaria suas almas para outro mundo. Na época, um cometa brilhante chamado Hale-Bopp estava bem visível no céu, e os seguidores desse culto acreditavam — porque seu líder espiritual lhes dissera — que uma espaçonave alienígena o acompanhava. Compraram um telescópio para observá-la, mas o devolveram à loja porque "não funcionava". E como sabiam que não funcionava? Ele não mostrava a nave espacial!

Será que o líder do culto, um sujeito chamado Marshall Applewhite, acreditava na bobagem que ensinou a seus seguidores? Provavelmente sim, já que também tomou veneno. Portanto, parece que estava sendo sincero! Muitos líderes de culto só estão interessados em se apossar das mulheres de sua congregação, mas Marshall Applewhite era um dos vários membros do grupo que tempos antes haviam se submetido à castração. Então o sexo não estava entre suas principais preocupações.

Uma coisa que gente assim parece ter em comum é o gosto pela ficção científica. Os membros do Heaven's Gate eram obcecados pela série *Jornada nas estrelas*. Evidentemente, o que não falta são histórias de ficção científica sobre criaturas de outros planetas, mas a maioria de nós sabe que se trata apenas disso: ficção, histórias imaginadas, inventadas, e não relatos de coisas que realmente aconteceram. No entanto, existem muitas pessoas que têm certeza absoluta e inabalável de que foram capturadas (abduzidas) por alienígenas. Tamanha é sua ânsia por acreditar nisso que se convencem com base nas mais insignificantes "evidências". Um homem, por exemplo, acreditava ter sido abduzido só porque sofria sangramentos nasais constantes. Sua teoria era que extraterrestres haviam instalado um radiotransmissor no seu nariz para espioná-lo. Ele também pensava ser parte alienígena porque era um pouco mais moreno que seus pais. Um número surpreendentemente grande de americanos, muitos deles normais em todo o resto, acredita sinceramente que homenzinhos cinzentos de olhos e cabeças grandes os levaram para bordo de um disco voador e os submeteram a experimentos horríveis. Existe toda uma mitologia sobre "abdução por alienígenas", tão rica, imaginosa e detalhada quanto a mitologia da Grécia Antiga com os deuses do Olimpo. Só que esses mitos sobre abdução são recentes, e podemos conversar com gente que acredita ter sido abduzida. São pessoas aparentemente normais, equilibradas, sensatas, que afirmam ter visto alienígenas com seus próprios olhos. Descrevem como eram os extraterrestres e o que disseram enquanto faziam seus perversos experimentos e enfiavam agulhas nas vítimas (os alienígenas sempre falam a língua dos terráqueos abduzidos, é claro!).

Susan Clancy é uma entre muitos psicólogos que fizeram estudos detalhados sobre pessoas que dizem ter sido abduzidas. Nem todas têm uma recordação clara do evento, ou mesmo algum tipo de recordação. Explicam isso alegando que os extraterrestres devem ter empregado alguma técnica diabólica para apagar suas memórias depois de terminar os experimentos em seu corpo. Algumas procuram um hipnotizador ou um psicoterapeuta para ajudá-las a "recuperar as memórias perdidas".

A propósito, essa história de "recuperar memórias perdidas" é interessante. Às vezes, podemos pensar que nos recordamos de um incidente real, mas estamos apenas lembrando outra memória… e assim por diante, voltando até uma memória que se refere a um incidente que pode ou não ter sido real. Memórias de memórias de memórias podem se tornar progressivamente distorcidas. Há boas evidências de que algumas das nossas mais vívidas recordações são *falsas* memórias. E falsas memórias podem ser deliberadamente inseridas por "terapeutas" inescrupulosos.

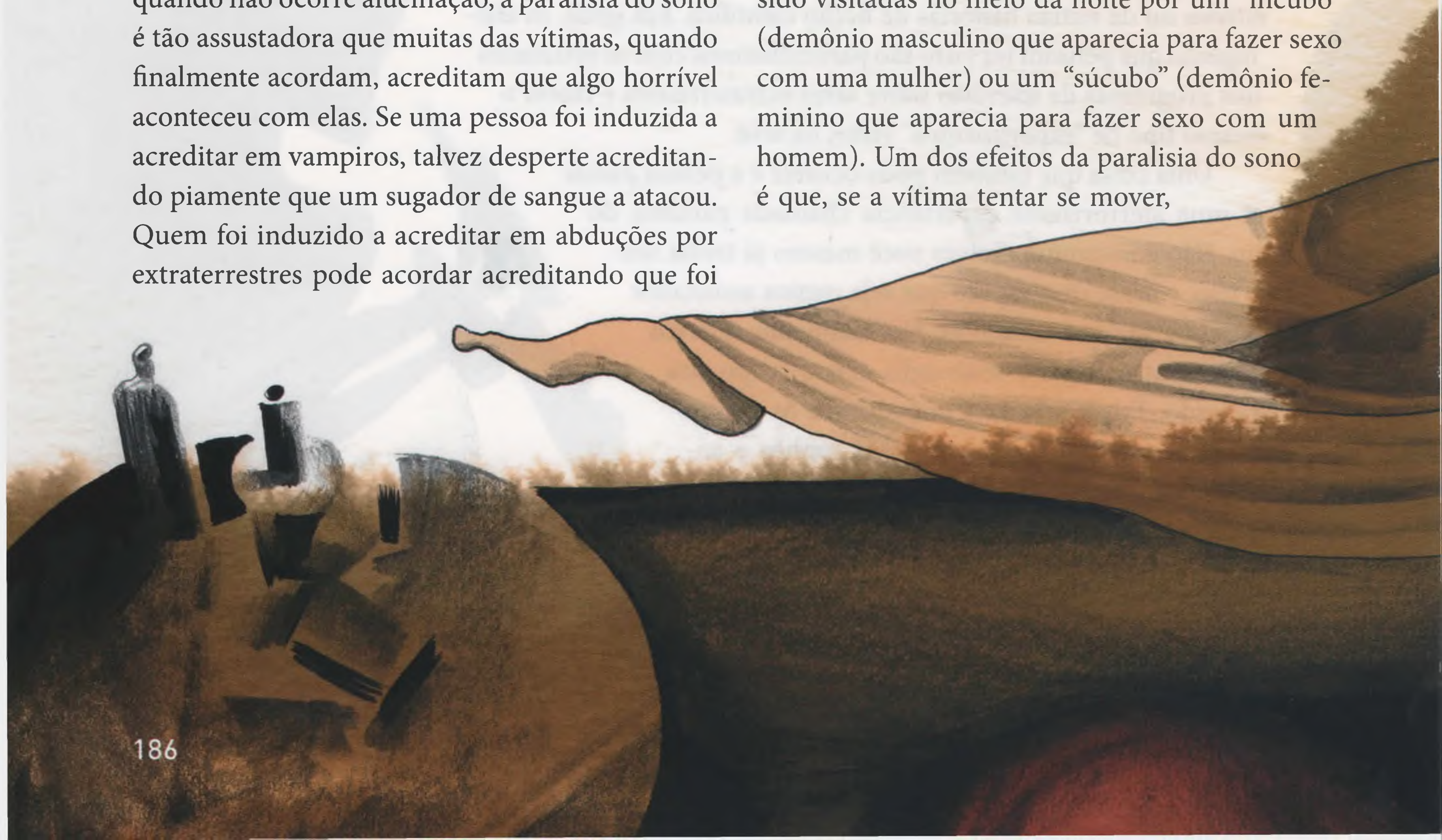
A síndrome da falsa memória nos ajuda a entender por que alguns dos que pensam ter sido abduzidos dizem ter uma recordação muito vívida do incidente. O que em geral ocorre é que a pessoa fica obcecada por extraterrestres de tanto ver notícias sobre outras "abduções". Frequentemente, como eu já disse, essas pessoas são fãs de *Jornada nas estrelas* ou de outras histórias de ficção científica. Em geral, os alienígenas que pensam ter visto são parecidíssimos com os retratados nos programas de televisão sobre seres extraterrestres e fazem o mesmo tipo de "experimentos" vistos na tevê.

Uma coisa que também pode ocorrer é a pessoa passar por uma aterrorizante experiência chamada paralisia do sono. Não é incomum. Talvez você mesmo já tenha sentido isso, e nesse caso espero que seja menos assustador da próxima vez que acontecer. Normalmente, quando estamos adormecidos e sonhando, nosso corpo fica paralisado. Talvez seja para impedir que os músculos funcionem de acordo com os sonhos e andemos dormindo (embora isso aconteça às vezes). Normalmente, quando acordamos e o sonho desaparece, a paralisia some e podemos mover os músculos de novo.

Às vezes, porém, o retorno da mente ao estado consciente acontece antes de os músculos voltarem à vida, e essa situação é chamada de paralisia do sono. É assustador, como você pode imaginar. A pessoa está desperta, pode ver seu quarto e tudo o que há em volta, mas não consegue se mexer. Muitas vezes essa paralisia vem acompanhada de apavorantes alucinações. A pessoa se sente cercada por um terrível perigo que não sabe definir. Às vezes chega a ver coisas que não estão presentes, como em um sonho. E, como nos sonhos, para ela tudo parece real.

Ora, se uma pessoa sofre uma alucinação enquanto está com paralisia do sono, de que tipo poderia ser? Um fã de ficção científica poderia muito bem ver homenzinhos cinzentos de olhos e cabeças grandes. Em outros séculos, antes do surgimento da ficção científica, as pessoas talvez vissem assombrações, lobisomens, vampiros ou até (se tivessem sorte) belos anjos.

O importante é que as imagens vistas durante a paralisia do sono não são de coisas ali presentes, mas são conjuradas pela mente a partir de temores passados, lendas ou ficções. Mesmo quando não ocorre alucinação, a paralisia do sono é tão assustadora que muitas das vítimas, quando finalmente acordam, acreditam que algo horrível aconteceu com elas. Se uma pessoa foi induzida a acreditar em vampiros, talvez desperte acreditando piamente que um sugador de sangue a atacou. Quem foi induzido a acreditar em abduções por extraterrestres pode acordar acreditando que foi sequestrado por alienígenas e teve memória apagada por eles.

O que costuma acontecer em seguida com as vítimas de paralisia do sono é que, mesmo se nessa ocasião não tiverem sofrido alucinações com alienígenas e experimentos medonhos, sua reconstituição do que suspeitam ter acontecido pode, influenciada pelo medo que sentiram, consolidar-se como uma falsa memória. Muitas vezes esse processo é auxiliado por amigos e parentes, que querem arrancar mais detalhes do que aconteceu e até dão a deixa com perguntas como "Havia alienígenas? De que cor eles eram? Cinza? Tinham olhos imensos como nos filmes?". Até perguntas podem ser suficientes para implantar ou consolidar uma falsa memória. Por isso, não é de surpreender que uma pesquisa feita em 1992 tenha concluído que quase 4 milhões de americanos diziam ter sido abduzidos por extraterrestres.

A psicóloga Sue Blackmore, minha amiga, diz que a paralisia do sono também foi a mais provável causa de horrores imaginados no passado, antes que a ideia dos extraterrestres se difundisse. Na época medieval, pessoas afirmavam ter sido visitadas no meio da noite por um "íncubo" (demônio masculino que aparecia para fazer sexo com uma mulher) ou um "súcubo" (demônio feminino que aparecia para fazer sexo com um homem). Um dos efeitos da paralisia do sono é que, se a vítima tentar se mover,

tem a impressão de que um peso segura seu corpo na cama. Isso facilmente poderia ser interpretado pela vítima apavorada como uma agressão sexual. Uma lenda norte-americanaa fala de uma "velha megera" que visita as pessoas durante a noite e se senta sobre o peito delas. Na Indochina, há uma lenda sobre um fantasma cinzento que visita as pessoas à noite e as paralisa.

Portanto, temos dados para entender por que certas pessoas acreditam ter sido abduzidas por extraterrestres e podemos associar os mitos modernos sobre abduções aos mais antigos sobre íncubos e súcubos lascivos ou vampiros com longos caninos que apareciam à noite para sugar sangue. Não existe evidência confiável de que nosso planeta alguma vez tenha sido visitado por seres do espaço (nem por íncubos, súcubos e outros demônios). Mas resta a questão de se existem ou não seres vivos em outros planetas. O fato de não nos terem visitado não significa que não existam. Será que o mesmo processo de evolução, ou quem sabe um processo muito diferente, está em curso em outros planetas?

EXISTE REALMENTE VIDA EM OUTROS PLANETAS?

NINGUÉM SABE. Se tivesse que dar uma opinião, eu diria que sim, deve existir vida em milhões de planetas. Mas quem se importa com uma opinião? Não existem evidências. Uma das grandes virtudes da ciência é que os cientistas sabem quando não sabem algo e admitem sua ignorância. Isso porque não saber a resposta é um estimulante desafio para tentar descobri-la.

Um dia poderemos ter evidências irrefutáveis de que existe vida em outros planetas, e então teremos certeza disso. Por enquanto, o melhor que um cientista pode fazer é registrar o tipo de informações que poderia reduzir a incerteza e levar da suposição à estimativa de probabilidades. E isso, em si, já é uma tarefa interessante e bastante desafiadora.

A primeira pergunta poderia ser: quantos planetas existem? Há até bem pouco, era possível acreditar que os planetas que orbitavam nosso Sol eram os únicos, pois nem os maiores telescópios eram capazes de detectar outros. Hoje temos boas evidências de que muitas estrelas têm planetas e quase diariamente são descobertos planetas "extrassolares", que orbitam uma estrela que não é nosso Sol (*extra* é a palavra latina para "na parte de fora").

Você poderia pensar que o modo óbvio de detectar um planeta é vê-lo com um telescópio. Mas eles são opacos demais para serem vistos a grandes distâncias. Não têm brilho próprio, apenas refletem a luz de sua estrela. Por isso, não podemos vê-los diretamente. Temos de recorrer a métodos indiretos, sendo o melhor deles o espectroscópio, instrumento que vimos no capítulo 8.

Quando um corpo celeste orbita outro de tamanho aproximadamente igual, na realidade cada corpo está orbitando o outro, pois a força gravitacional que exercem é quase equivalente. Várias das estrelas brilhantes que vemos quando olhamos para o céu são, na verdade, duas estrelas, chamadas binárias, uma orbitando a outra, como as duas esferas de um haltere ligadas por uma haste invisível. Quando um corpo é muito menor que o outro, o caso de um planeta e sua estrela, o menor gira rápido em torno do maior, enquanto este faz ínfimos movimentos em resposta à atração gravitacional do corpo menor. Dizemos que a Terra orbita o Sol, mas na verdade o Sol também faz movimentos insignificantes em resposta à gravidade da Terra. E um planeta grande como Júpiter pode ter um efeito perceptível sobre a posição de sua estrela. Esses movimentos de uma estrela são pequenos demais para ser considerados um "giro" em torno do planeta, porém podem ser detectados por nossos instrumentos, ainda que não sejamos capazes de ver o planeta em si.

O modo como detectamos esses movimentos é interessante. Qualquer estrela está distante demais para que possamos vê-la em movimento, mesmo com um potente telescópio. No entanto, podemos medir a velocidade com que ela se move. Parece esquisito, mas é aí que entra o espectroscópio. Lembra o efeito Doppler que vimos no capítulo 8? Quando o movimento da estrela é um afastamento em relação à Terra, a luz dela mostrará um deslocamento para o vermelho. Quando o movimento é uma aproximação da Terra, haverá deslocamento para o azul. Assim, se uma estrela tiver um planeta em sua órbita, o espectroscópio mostrará um padrão de deslocamento vermelho-azul-vermelho-azul, pulsando ritmadamente, e o ritmo desses deslocamentos nos diz a duração do ano do planeta. É complicado quando há mais de um planeta. Mas os astrônomos são craques em matemática e sabem resolver esse problema. No momento em que escrevo (janeiro de 2011), 484 planetas, orbitando 408 estrelas, foram detectados graças a esse método. Já haverá mais quando você estiver lendo este livro.

Há outros métodos de detectar planetas. Quando um planeta passa diante de uma estrela, uma pequena parte da face dela é obscurecida ou eclipsada, como quando vemos a Lua eclipsar o Sol (só que a Lua parece muito maior porque está muito mais próxima).

10 000

Quando um planeta se interpõe entre nós e sua estrela, ela brilha um pouco menos, e às vezes nossos instrumentos são sensíveis o bastante para detectar essa diminuição de luminosidade. Até agora, 110 planetas foram descobertos assim. E existem ainda outros métodos, que permitiram detectar 35 planetas. Alguns foram detectados por mais de uma dessas técnicas, e atualmente temos um total de 519 planetas detectados em órbita de estrelas, exceto o Sol, na galáxia.

Descobrimos que em nossa galáxia há planetas na maioria das estrelas onde procuramos. Assim, supondo que nossa galáxia seja típica, provavelmente a maioria das estrelas do universo tem planetas em sua órbita. O número aproximado de estrelas em nossa galáxia é 100 bilhões, e o número de galáxias no universo também é aproximadamente esse. Isso significa um total de estrelas por volta de 10 mil bilhões de bilhões. Cerca de 10% das estrelas conhecidas são designadas pelos astrônomos como "estrelas do tipo solar". Estrelas que diferem muito do Sol, mesmo quando têm planetas, provavelmente não sustentam vida por várias razões. Por exemplo, estrelas muito maiores que o Sol tendem a não durar o suficiente antes de explodir. Mesmo se nos limitarmos aos planetas em órbita de estrelas do tipo solar, provavelmente estaremos falando de bilhões de bilhões — e essa é uma estimativa por baixo.

Mas quantos desses planetas em órbita do "tipo certo de estrela" têm probabilidade de ser adequados à vida? A maioria dos planetas extrassolares descobertos até agora são "Júpiteres", ou seja, "gigantes gasosos", compostos principalmente de gás sob alta pressão. Isso não surpreende, já que nossos métodos de detectar planetas em geral não são sensíveis o bastante para apontar nada menor que Júpiteres. E os gigantes gasosos não são adequados à vida como a conhecemos. É claro que isso não significa que a vida como a conhecemos seja o único tipo de vida possível. Pode ser que haja vida em Júpiter, embora eu duvide. Desconhecemos que proporção desses bilhões de bilhões de planetas são corpos rochosos parecidos com a Terra, em vez de gigantes gasosos como Júpiter. Mas, mesmo se a proporção for muito pequena, o número absoluto ainda será alto, pois o total é imenso.

000 000

000 000

000 000

Cachinhos Dourados

A vida como a conhecemos depende da água. Repito que devemos ter cuidado ao fixar nossa atenção sobre a vida como a conhecemos, mas por enquanto os exobiólogos (cientistas que procuram vida fora da Terra) consideram a água essencial. Por isso, dedicam boa parte de seus esforços a vasculhar o céu em busca de sinais dela. É muito mais fácil detectar água do que vida. Achar água não significa que sem dúvida haverá vida, mas é um passo nessa direção.

Para que vida como a conhecemos exista, pelo menos parte da água tem de estar em forma líquida. Gelo não serve, nem vapor. Um exame atento de Marte mostra indícios de existência de água líquida no passado, talvez até no presente. Vários outros planetas contêm ao menos um pouco de água, ainda que não em forma líquida. Europa, uma das luas de Júpiter, é coberta de gelo, e supõe-se que sob ele exista um mar de água líquida. Antes pensava-se que Marte era o melhor candidato para a vida extraterrestre no sistema solar, e um famoso astrônomo, Percival Lowell, até desenhou o que seriam canais entrecruzando a superfície do planeta. Agora que naves espaciais fotografaram Marte minuciosamente e pousaram em sua superfície, descobrimos que esses canais existem apenas na imaginação de Lowell. Hoje, Europa tomou o lugar de Marte como principal candidato à vida extraterrestre em nosso sistema solar. A maioria dos cientistas, porém, acha que devemos procurar mais longe. Dados sugerem que a água não é rara em planetas extrassolares.

Frio demais

Zona Cachinhos Dourados

E a temperatura? De quanto deve ser para sustentar a vida em um planeta? Os cientistas falam em "Zona Cachinhos Dourados", onde haveria uma temperatura "ideal" (como a do mingau do bebê urso) entre dois extremos impróprios, o quente demais (como o mingau do papai urso) e o frio demais (como o da mamãe ursa). A órbita da Terra é "ideal" para a vida: não demasiado próxima do Sol, onde a água ferveria, nem distante demais, onde toda a água congelaria e não haveria luz solar suficiente para alimentar as plantas. Embora existam bilhões e bilhões de planetas, não podemos esperar que mais que uma minoria deles seja ideal na temperatura e na distância de sua estrela.

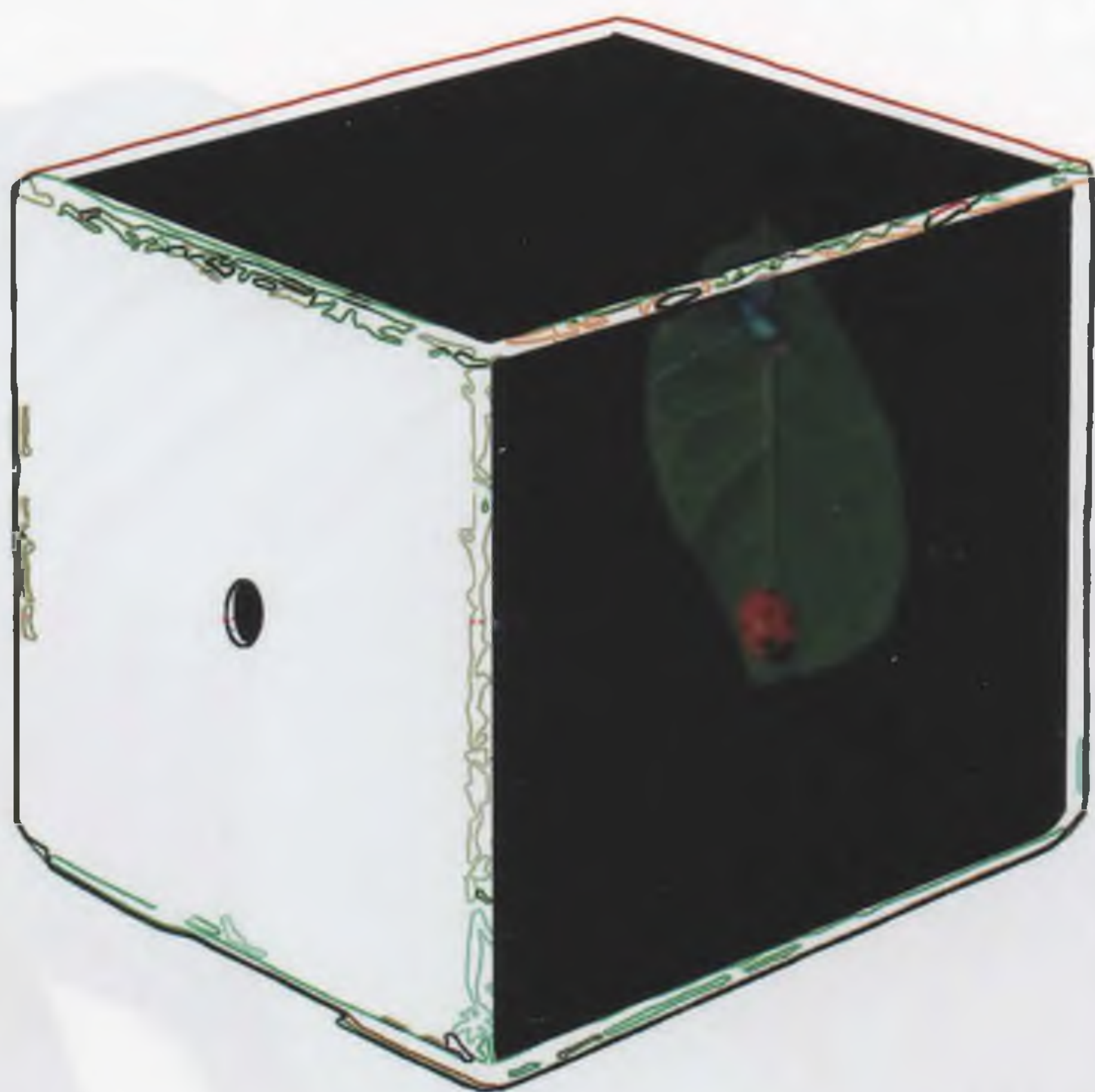
Recentemente (em março de 2011) foi descoberto um planeta "Cachinhos Dourados" orbitando uma estrela chamada Gliese 581, situada a cerca de 20 anos-luz da Terra (não muito longe para uma estrela, mas ainda assim uma distância imensa para os padrões humanos). Essa estrela é uma "anã vermelha", bem menor que o Sol, e sua zona Cachinhos Dourados é correspondentemente mais próxima. Ela tem no mínimo seis planetas, chamados Gliese 581e, b, c, g, d, f. Vários deles são pequenos e rochosos como a Terra, e julga-se que um, Gliese 581d, está na zona Cachinhos Dourados de água líquida. Não sabemos se ele contém água, mas se contiver é provável que seja líquida. Ninguém está sugerindo que há vida em Gliese 581d, mas o fato de que um planeta assim foi descoberto em tão pouco tempo depois de começarmos a procurar leva a crer que existam muitos planetas Cachinhos Dourados no universo.

Quente demais

Estrela

E quanto ao tamanho do planeta? Existe um tamanho Cachinhos Dourados, nem grande nem pequeno demais? A massa do planeta, para ser mais rigoroso, tem grande impacto sobre a vida, por causa da gravidade. Um planeta com o mesmo diâmetro da Terra feito de ouro maciço teria massa mais de três vezes maior. A atração gravitacional dele seria três vezes mais forte que aquela à qual estamos habituados. Tudo pesaria mais que o triplo, inclusive os seres vivos. Pôr um pé na frente do outro seria um esforço imenso. Um animal do tamanho de um camundongo precisaria de ossos grossos para sustentar seu corpo, e seu andar seria pesado como o de um rinoceronte em miniatura. Já um animal do tamanho de um rinoceronte poderia sufocar sob o próprio peso.

Assim como o ouro é mais pesado que o ferro, o níquel e outras coisas de que a Terra é feita, o carvão é muito mais leve. Um planeta de carvão do tamanho da Terra teria uma atração gravitacional com apenas um quinto da força à qual estamos acostumados. Um animal do tamanho de um rinoceronte poderia andar levemente, com pernas finas e longas como as de uma aranha. E animais muito maiores que dinossauros poderiam evoluir sem problemas, se o planeta correspondesse às outras condições. A gravidade da Lua é aproximadamente um sexto da terrestre. É por isso que os astronautas andavam daquele jeito esquisito, aos pulos, e seus trajes volumosos davam um efeito cômico. Se um animal evoluísse em um planeta com gravidade tão fraca, seu físico seria muito diferente. A seleção natural garantiria isso.

Se a atração gravitacional fosse forte demais, como em uma estrela de nêutrons — um tipo de estrela que sofre um colapso gravitacional —, não poderia existir vida. Como aprendemos no capítulo 4, toda matéria consiste sobretudo em espaço vazio. A distância entre os núcleos atômicos é enorme comparada ao tamanho deles. Mas, em uma estrela de nêutrons, o "colapso" significa que o espaço vazio desapareceu totalmente. Ela pode ter tanta massa quanto o Sol, mesmo com o tamanho de uma cidade, por isso sua força de atração gravitacional é tremenda. Se você fosse posto numa estrela de nêutrons, pesaria cem bilhões de vezes o que pesa na Terra. Seria achatado. Não poderia se mover. Um planeta só precisaria ter uma minúscula fração da força gravitacional de uma estrela de nêutrons para ficar fora da zona Cachinhos Dourados — não só para a vida como a conhecemos, mas para qualquer tipo de vida que se possa imaginar.

Olho vivo

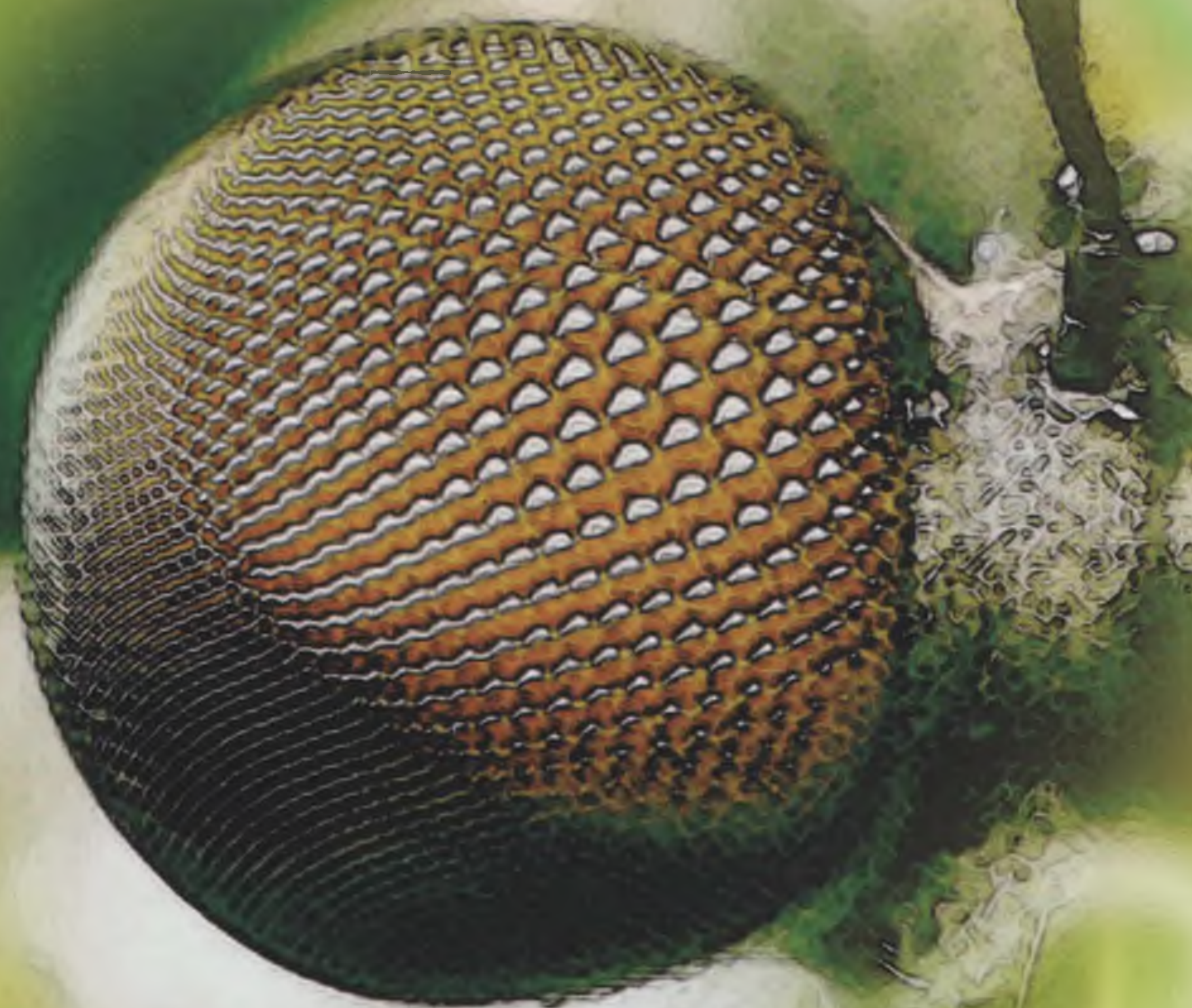
Se existirem seres vivos em outros planetas, como serão eles? Muita gente pensa que os autores de ficção científica fazem seus extraterrestres parecidos com os humanos por preguiça, com pequenas diferenças: cabeça maior, mais olhos, talvez asas. Mesmo quando não são humanoides, os alienígenas fictícios costumam ser versões modificadas de criaturas conhecidas, como aranhas, polvos ou cogumelos. Mas talvez não seja preguiça ou falta de imaginação. Talvez haja boas razões para supor que os extraterrestres, se existirem (e eu acho que devem existir), não nos causem grande estranheza. Os alienígenas fictícios são descritos como monstros com olhos de inseto, por isso usarei os olhos em meu exemplo. Poderia ter escolhido pernas, asas ou orelhas (ou até indagado por que nenhum animal tem rodas!), mas ficarei nos olhos e tentarei mostrar que não é preguiça supor que os extraterrestres, caso existam, podem muito bem ter olhos.

Ter olhos é muito útil, e isso é verdade na maioria dos planetas. A luz, para fins práticos, viaja em linha reta. Sempre que há luz disponível, como nas vizinhanças de uma estrela, é tecnicamente fácil usar raios luminosos para localizar-se, orientar-se, encontrar objetos. Qualquer planeta que tenha vida deve estar perto de uma estrela, pois essa é a fonte óbvia de energia de que toda forma de vida precisa. Portanto, é bem provável que haja luz sempre que existir vida. E, onde existe luz, é muito provável que evoluam olhos, já que eles são muito úteis. Não é de surpreender que olhos tenham evoluído independentemente em nosso planeta.

Há modos limitados de fazer um olho, e acho que todos evoluíram em nosso reino animal. Existe o olho-câmera (acima, à esquerda), que, como uma máquina fotográfica, é uma câmara escura com um pequeno orifício frontal por onde a luz entra através de uma lente que focaliza a imagem de cabeça para baixo sobre uma tela no fundo, a retina. Essa lente não é essencial. Um simples orifício, se for pequeno o bastante, dá conta da tarefa. Mas isso significa que pouca luz penetra, por isso a imagem é muito obscura — a menos que o planeta receba muito mais luz de

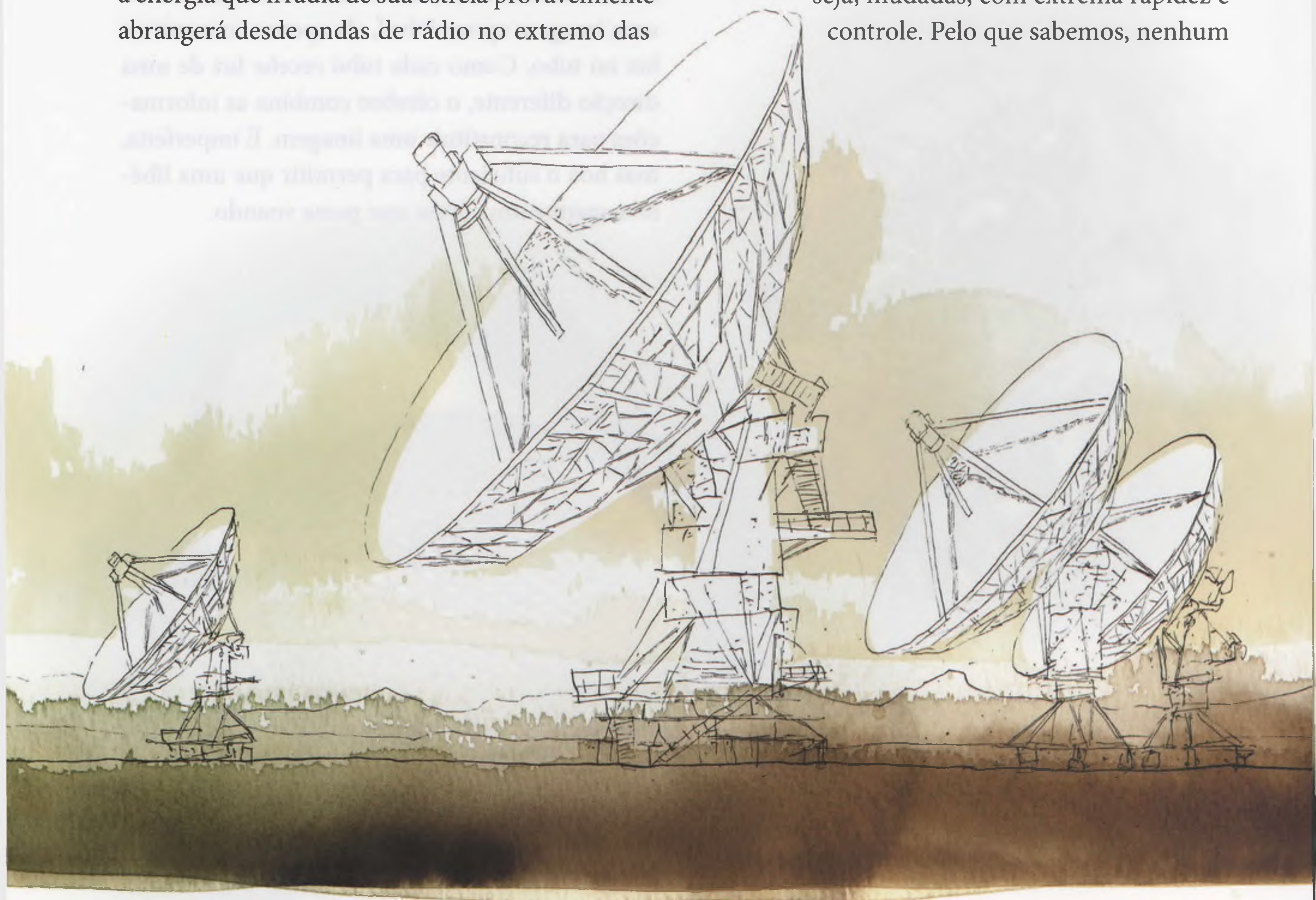
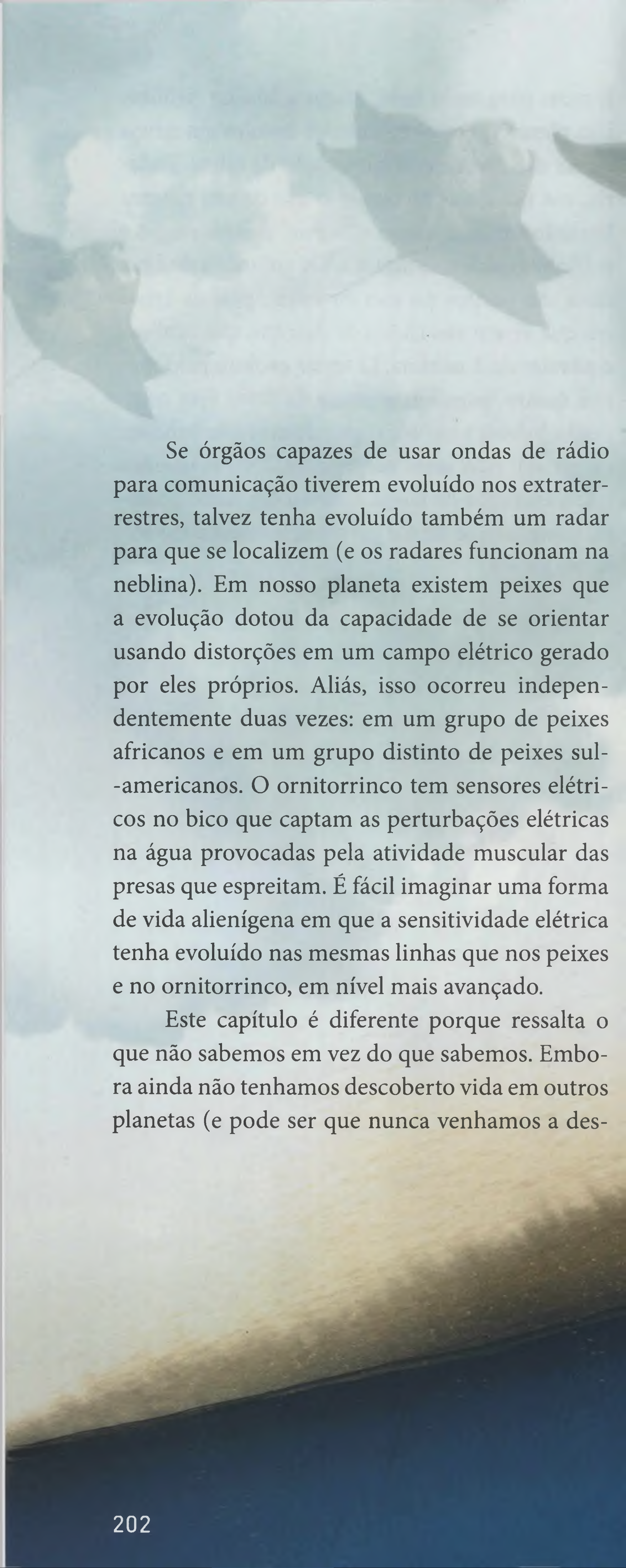
sua estrela do que recebemos do Sol. Isso é possível, e nesse caso os extraterrestres poderiam ter olhos sem lente do tipo "buraco de alfinete". Os olhos humanos (ao lado, à direita) possuem uma lente que aumenta a quantidade de luz focalizada sobre a retina. A retina, ao fundo, é revestida de células sensíveis à luz e manda para o cérebro as informações luminosas que recebe pelos nervos. Os vertebrados têm esse tipo de olho, e o olho-câmera evoluiu independentemente em muitos outros tipos de animal, inclusive o polvo. Também foi desenvolvido por inventores humanos, claro.

As aranhas saltadoras (embaixo, à esquerda) possuem um olho "escaneador". É parecido com um olho-câmera, só que a retina, em vez de ser um vasto tapete de células sensíveis à luz, é uma faixa estreita. Ela tem forma de tira e está ligada a músculos que a movimentam para que "escaneie" a cena que a aranha tem à sua frente. Um dado interessante: isso é mais ou menos o que faz uma câmera de televisão, pois ela possui apenas um canal para enviar uma imagem inteira. A câmera escaneia em linhas, lateralmente e para baixo, mas faz isso tão depressa que a imagem que recebemos parece única. Os olhos das aranhas saltadoras não escaneiam tão rápido e tendem a concentrar-se na partes "interessantes" da cena, como uma mosca, mas o princípio é o mesmo.

Existe também o olho composto (embaixo, à direita), encontrado em insetos, camarões e outros animais. Consiste em centenas de tubos que irradiam do centro de um hemisfério. Cada um aponta em uma direção diferente e termina em uma pequena lente, então podemos imaginá-lo como um olho minúsculo. Mas a lente não forma uma imagem aproveitável, ela apenas concentra a luz no tubo. Como cada tubo recebe luz de uma direção diferente, o cérebro combina as informações para reconstituir uma imagem. É imperfeita, mas boa o suficiente para permitir que uma libélula apanhe uma presa que passa voando.

Nossos maiores telescópios usam um espelho curvo em vez de lente, e esse princípio também é encontrado em olhos de animais, especificamente nas vieiras, um tipo de molusco. O olho delas usa um espelho curvo para focalizar uma imagem na retina, que fica em frente ao espelho. Isso fica no caminho de parte da luz, como ocorre nos telescópios refletores, mas não atrapalha muito, pois a maior parte da luz chega ao espelho.

Essa lista praticamente esgota os olhos que os cientistas podem imaginar, e todos eles evoluíram em animais neste planeta, a maioria mais de uma vez. Aposto que, se existirem em outros planetas criaturas capazes de enxergar, será com olhos de um tipo que nos pareceria familiar.

Exercitemos um pouco mais a imaginação. No planeta dos nossos extraterrestres hipotéticos, a energia que irradia de sua estrela provavelmente abrangerá desde ondas de rádio no extremo das ondas longas até raios X no extremo das ondas curtas. Por que os extraterrestres deveriam limitar-se à estreita banda de frequências que chamamos de "luz"? Talvez possuam olhos de rádio? Ou olhos de raios X?

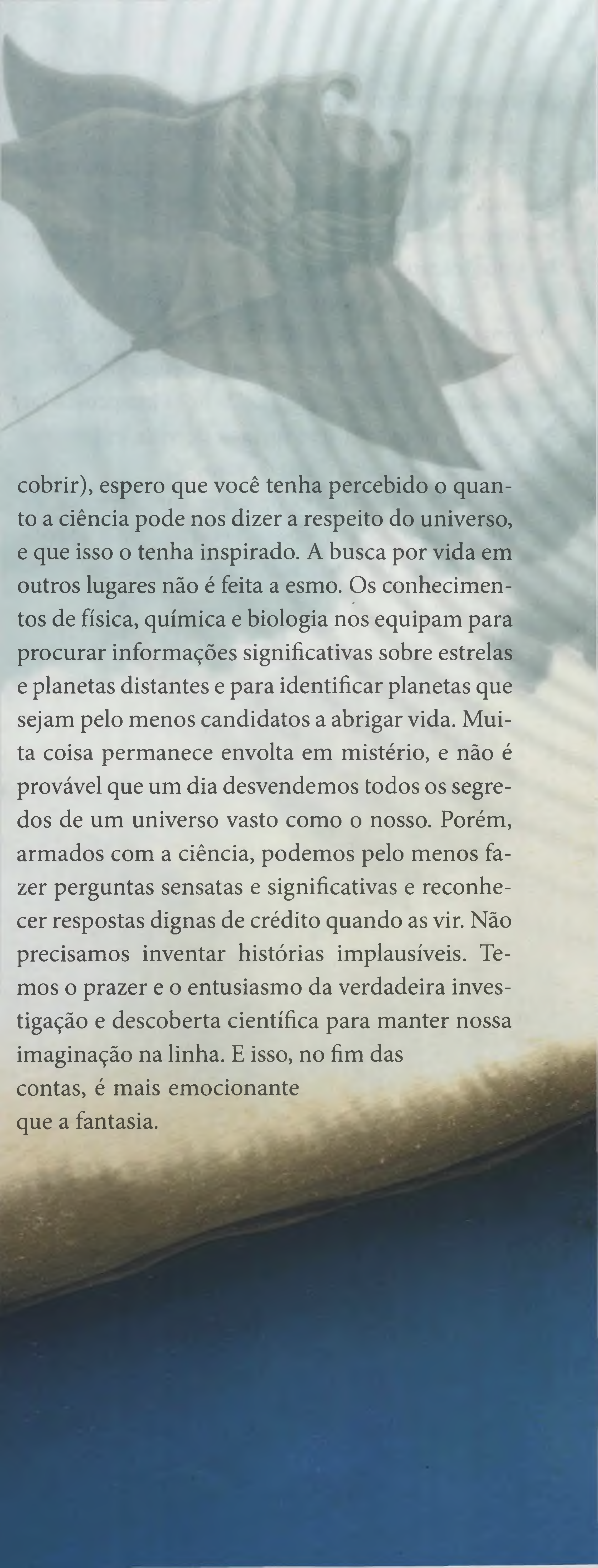
Uma boa imagem depende de alta *resolução.* O que isso significa? Quanto mais alta a resolução, mais próximos dois pontos podem estar e ainda ser distintos. Como seria de esperar, comprimentos de onda longos não permitem boa resolução. Os comprimentos de ondas luminosas são medidos em diminutas frações de milímetro e permitem excelente resolução, mas os comprimentos de ondas de rádio são medidos em metros. Portanto, as ondas de rádio não formariam uma boa imagem, embora sejam ótimas para a comunicação porque podem ser *moduladas,* ou seja, mudadas, com extrema rapidez e controle. Pelo que sabemos, nenhum

ser vivo em nosso planeta adquiriu pela evolução um sistema natural para transmitir, modular ou receber ondas de rádio. A tecnologia humana fez isso. Mas quem sabe se em outros planetas existem seres que a evolução dotou de uma radiocomunicação natural?

E quanto às ondas mais curtas que as luminosas, como os raios X? Eles são difíceis de focalizar, e é por isso que nossos aparelhos de raios X produzem sombras em vez de boas imagens. Mas não é impossível que formas de vida em outros planetas possuam visão de raios X.

A visão, seja do tipo que for, depende de raios viajando em linhas retas ou pelo menos previsíveis. De nada adianta se os raios se espalharem para todo lado, como a luz na neblina. Um planeta permanentemente envolto em névoa densa não favoreceria a evolução de olhos. Poderia, em vez disso, favorecer o uso de um sistema baseado em ecos, como o "sonar" dos morcegos e golfinhos e dos submarinos. Os golfinhos de água doce são peritos no uso do sonar, pois as águas em que vivem são cheias de detritos, que acabam equivalendo à neblina. O sonar evoluiu pelo menos quatro vezes em animais da Terra (em morcegos, baleias e em dois tipos de aves que habitam cavernas). Não seria surpresa se descobríssemos que a evolução do sonar ocorreu em outro planeta, sobretudo se ele for permanentemente envolto em névoa.

Se órgãos capazes de usar ondas de rádio para comunicação tiverem evoluído nos extraterrestres, talvez tenha evoluído também um radar para que se localizem (e os radares funcionam na neblina). Em nosso planeta existem peixes que a evolução dotou da capacidade de se orientar usando distorções em um campo elétrico gerado por eles próprios. Aliás, isso ocorreu independentemente duas vezes: em um grupo de peixes africanos e em um grupo distinto de peixes sul-americanos. O ornitorrinco tem sensores elétricos no bico que captam as perturbações elétricas na água provocadas pela atividade muscular das presas que espreitam. É fácil imaginar uma forma de vida alienígena em que a sensitividade elétrica tenha evoluído nas mesmas linhas que nos peixes e no ornitorrinco, em nível mais avançado.

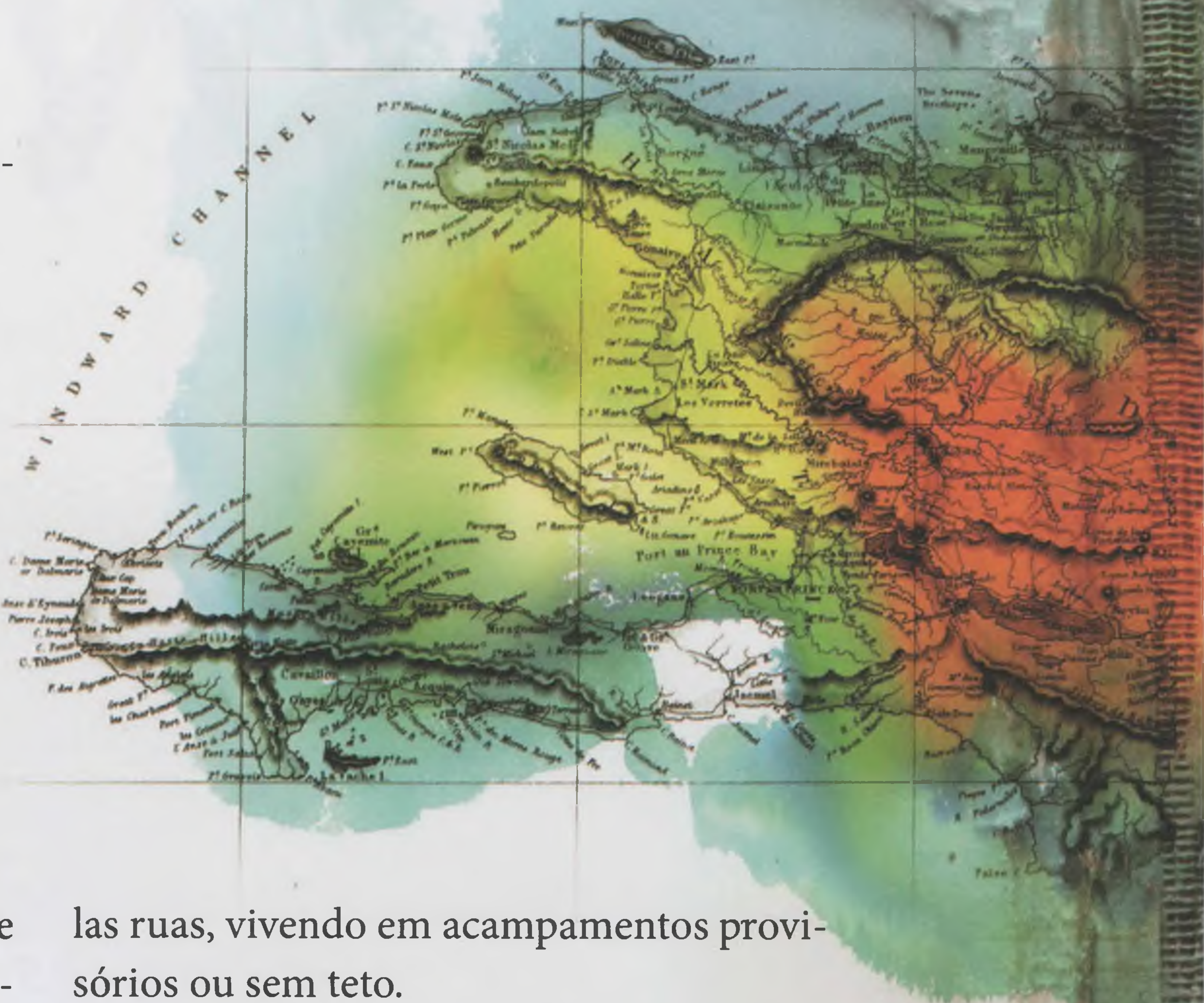
Este capítulo é diferente porque ressalta o que não sabemos em vez do que sabemos. Embora ainda não tenhamos descoberto vida em outros planetas (e pode ser que nunca venhamos a des-

cobrir), espero que você tenha percebido o quanto a ciência pode nos dizer a respeito do universo, e que isso o tenha inspirado. A busca por vida em outros lugares não é feita a esmo. Os conhecimentos de física, química e biologia nos equipam para procurar informações significativas sobre estrelas e planetas distantes e para identificar planetas que sejam pelo menos candidatos a abrigar vida. Muita coisa permanece envolta em mistério, e não é provável que um dia desvendemos todos os segredos de um universo vasto como o nosso. Porém, armados com a ciência, podemos pelo menos fazer perguntas sensatas e significativas e reconhecer respostas dignas de crédito quando as vir. Não precisamos inventar histórias implausíveis. Temos o prazer e o entusiasmo da verdadeira investigação e descoberta científica para manter nossa imaginação na linha. E isso, no fim das contas, é mais emocionante que a fantasia.

10 O QUE É UM TERREMOTO?

IMAGINE que você está sentado tranquilamente na sala, lendo um livro, vendo televisão ou jogando no computador. De repente, você ouve um estrondo aterrador, e a sala toda começa a tremer. A luminária balança no teto, os objetos caem das estantes, os móveis são jogados de um lado para o outro e você é derrubado da cadeira. Depois de uns dois minutos, tudo se acalma e um silêncio confortador sobrevém, rompido apenas pelo choro de uma criança assustada ou pelo latido de um cão. Você se recompõe e pensa que teve muita sorte porque sua casa não desabou. Em um terremoto muito forte, isso poderia ter acontecido.

Quando comecei a escrever este livro, uma ilha do Caribe, o Haiti, foi atingida por um terremoto devastador, e sua capital, Porto Príncipe, foi quase toda destruída. Estima-se que 230 mil pessoas tenham morrido e muitas outras, entre elas crianças que ficaram órfãs, ainda vagueiem pelas ruas, vivendo em acampamentos provisórios ou sem teto.

Mais tarde, quando eu fazia a revisão deste livro, um terremoto ainda mais forte ocorreu sob o mar na costa nordeste do Japão. Provocou uma onda gigantesca, um tsunami que causou destruição inimaginável quando se abateu sobre a costa, varrendo cidades inteiras, matando milhares de pessoas e deixando milhões de desabrigados, além de desencadear perigosas explo-

sões em uma usina nuclear que já estava danificada pelo terremoto.

Terremotos, assim como os tsunamis que eles causam, são comuns no Japão. A própria palavra tsunami tem origem japonesa. Mas nada parecido com isso, pelo que as pessoas vivas hoje se lembrem, jamais acontecera no país. O primeiro-ministro afirmou que foi a pior tragédia desde a Segunda Guerra Mundial, quando bombas atômicas destruíram as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki. Terremotos são comuns em toda a orla do oceano Pacífico. Christchurch, uma cidade da Nova Zelândia, havia sofrido danos terríveis e perdera muitas vidas em um tremor de terra ocorrido apenas um mês antes da catástrofe japonesa. Esse "anel de fogo" inclui boa parte da Califórnia e do oeste dos Estados Unidos, onde aconteceu um famoso terremoto em 1906, na cidade de San Francisco. Los Angeles, que é maior, também é vulnerável.

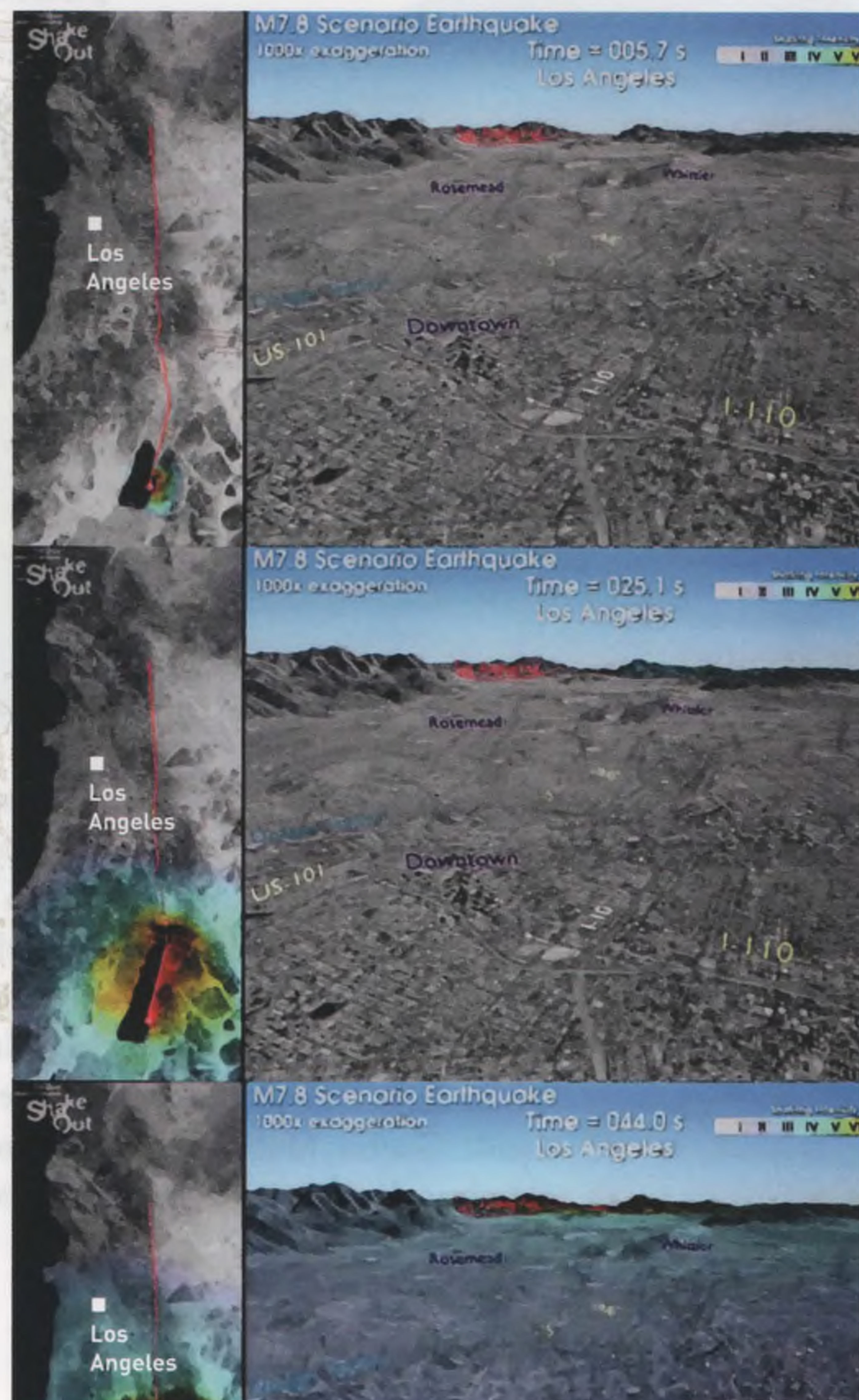
O que acontece quando há um terremoto?

PODEMOS ter uma ideia de como seria um grande terremoto nas proximidades de Los Angeles vendo uma simulação por computador. Trata-se de uma espécie de previsão visual de algo que não aconteceu, mas poderia acontecer, baseada em ciência: um tipo de filme "virtual" gerado pelo computador. Ele mostra um evento que não ocorreu na realidade, para que possamos saber como seria se ocorresse — já que, um dia, provavelmente ocorrerá.

As imagens nestas páginas mostram duas sequências de fotos da simulação. A tira estreita à esquerda em cada página mostra a área vista de cima, do sul para o norte, com a cidade de Los Angeles marcada como em um mapa. A mancha vermelha e amarela nos dois primeiros quadros indica onde o terremoto começa: o epicentro. A fina linha vermelha que serpenteia o mapa é a Falha de San Andreas. Por enquanto, pense nela apenas como uma fenda no chão, uma linha de fragilidade na superfície da Terra.

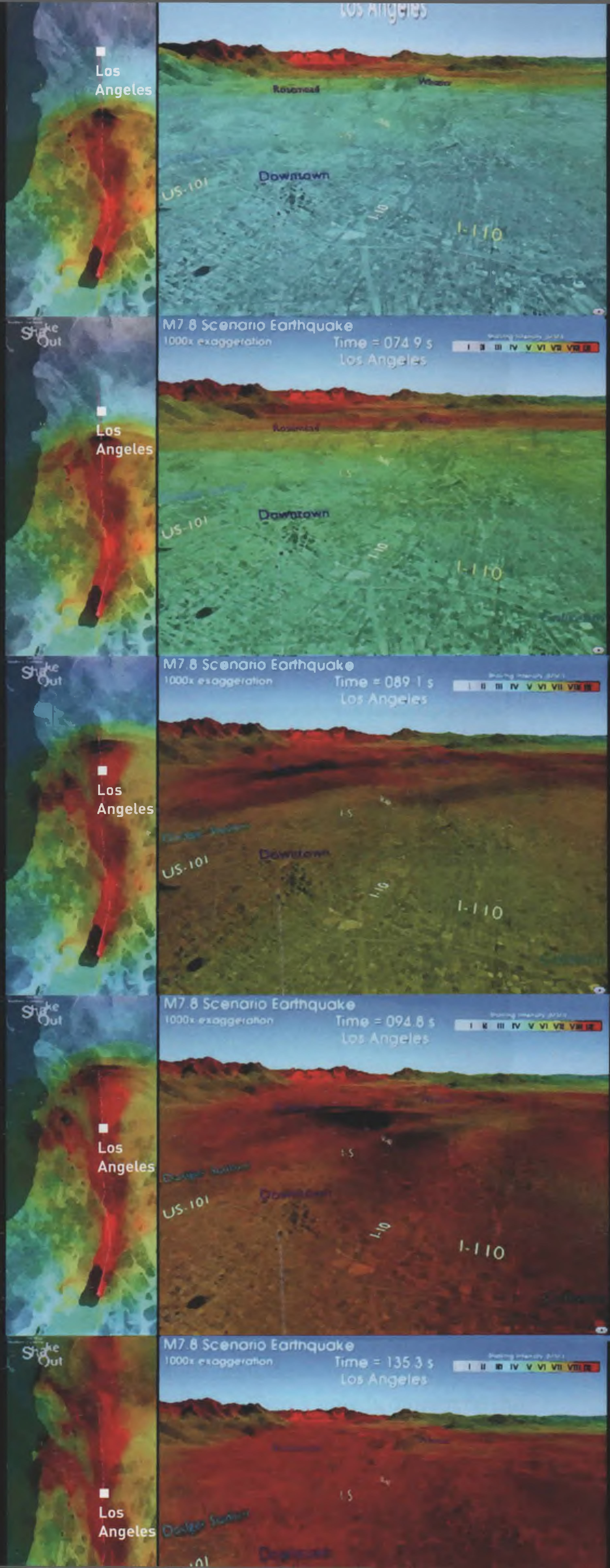
A sequência mais larga à direita não é um mapa, e sim a imagem de uma paisagem como se fosse vista de um avião, só que agora no sentido oposto, a partir de Los Angeles na direção sudeste, onde estão as montanhas e o epicentro do terremoto (marcado em vermelho).

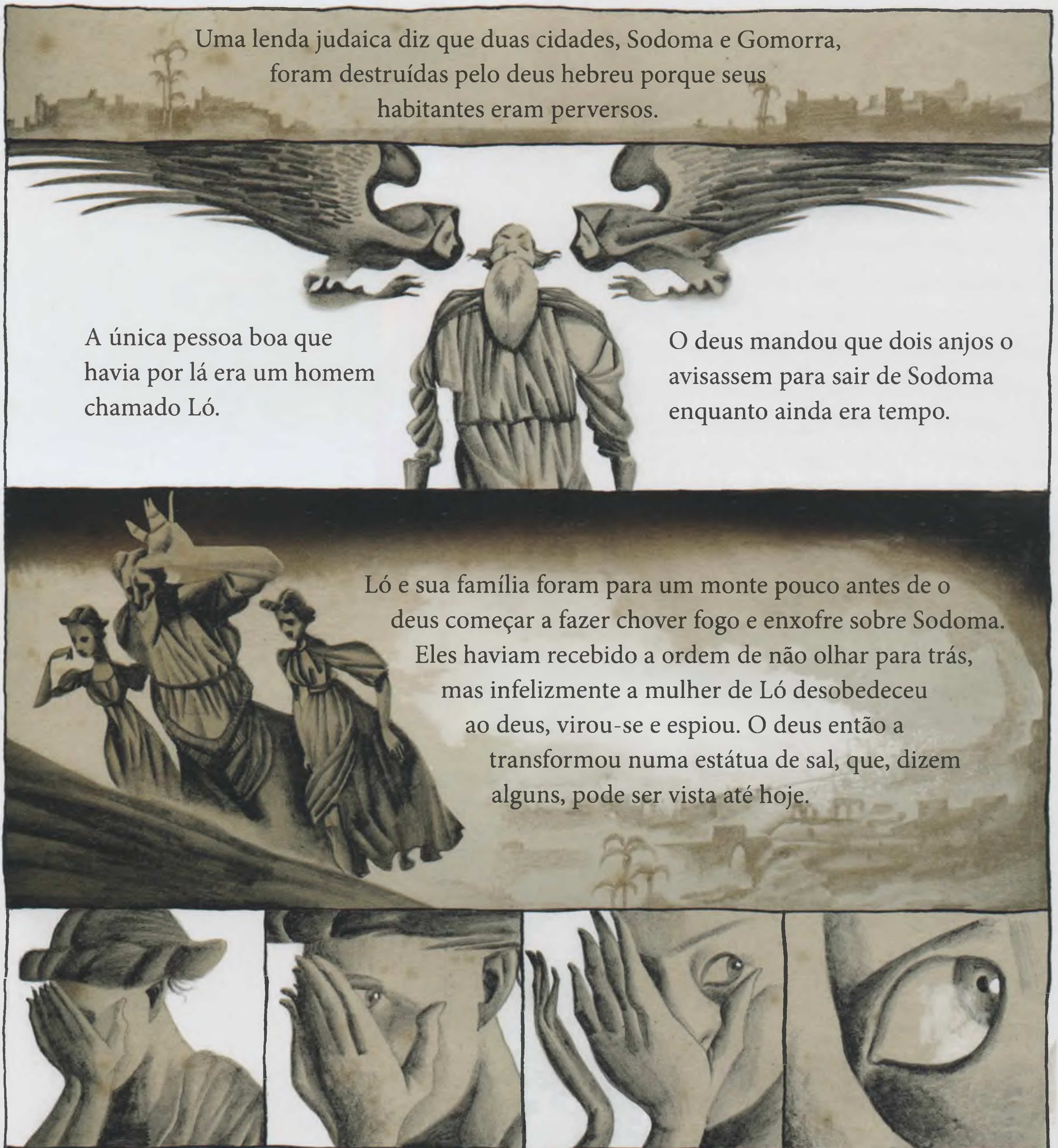
Se rodássemos a simulação no computador, teríamos uma visão aterradora. No mapa, veríamos o centro do terremoto em vermelho alastrando-se velozmente para o norte pela Falha de San Andreas, com ondas em azul, verde e amarelo representando tremores de várias intensidades que se difundem em leque para os lados. Depois de uns oitenta segundos, o centro vermelho chega a um trecho da orla de Los Angeles, e ondas amarelas e verdes já estão perpassando a cidade. Mais dez segundos e as ondas vermelhas atingem o centro de Los Angeles. Nessa altura, podemos olhar para a imagem da direita, a "vista do avião", e observar o que está acontecendo ali. É uma cena extraordinária. A paisagem inteira se comporta como um líquido. Parece um mar cheio de ondas. Terra seca, sólida, movendo-se em ondas como num oceano! Isso é um terremoto.

Se estivéssemos no chão, não veríamos as ondas, pois estaríamos muito próximos e seríamos pequenos comparados a elas. Apenas sentiríamos o chão mover-se e tremer sob nossos pés, como descrevi na primeira cena deste capítulo. Se o tremor fosse bem forte, a casa poderia desabar.

As cores da simulação são "falsas", e o computador as usa simplesmente como um modo de indicar a intensidade do terremoto em diferentes locais. Azul significa tremor fraco; vermelho, tremor forte; verde e amarelo, intensidades intermediárias. As cores nos ajudam a visualizar as ondas de movimento através da superfície terrestre e ver como elas se propagam rápido. O centro "vermelho" do terremoto percorre a falha de San Andreas a aproximadamente 8 mil km/h.

Como eu disse, essa é apenas uma simulação por computador, e não um terremoto verdadeiro filmado. O computador exagerou a quantidade de movimentos, por isso parece mil vezes pior do que seria na vida real. Mas ainda assim a realidade seria terrível.

Logo explicarei o que é realmente um terremoto e o que é uma "falha geológica", como a de San Andreas e outras semelhantes espalhadas pelo mundo. Mas, antes de tudo, vejamos alguns mitos.

Se você tem acesso à internet, assista ao filme em:
http://bit.ly/MagicofReality3

Mitos de terremotos

Comecemos com dois mitos que talvez tenham sido inspirados por terremotos específicos que realmente aconteceram em determinados momentos da história.

Uma lenda judaica diz que duas cidades, Sodoma e Gomorra, foram destruídas pelo deus hebreu porque seus habitantes eram perversos.

A única pessoa boa que havia por lá era um homem chamado Ló.

O deus mandou que dois anjos o avisassem para sair de Sodoma enquanto ainda era tempo.

Ló e sua família foram para um monte pouco antes de o deus começar a fazer chover fogo e enxofre sobre Sodoma. Eles haviam recebido a ordem de não olhar para trás, mas infelizmente a mulher de Ló desobedeceu ao deus, virou-se e espiou. O deus então a transformou numa estátua de sal, que, dizem alguns, pode ser vista até hoje.

Arqueólogos encontraram indícios de que um terremoto abalou a região em que Sodoma e Gomorra teriam existido, há 4 mil anos.

Se isso for verdade, a lenda da destruição das duas cidades pode entrar para a nossa lista de mitos de terremoto.

Outro mito bíblico que pode ter começado com um terremoto específico é a história da queda de Jericó. Situada ao norte do Mar Morto, no atual território de Israel, trata-se de uma das mais antigas cidades do mundo.

Jericó foi abalada por terremotos até recentemente. Em 1927, esteve próxima do centro de um deles, fortíssimo, que assolou a região e matou centenas de pessoas em Jerusalém, a 25 quilômetros de distância.

A história hebraica conta que Josué, um herói lendário, queria conquistar o povo que vivia em Jericó havia milhares de anos.

Jericó era protegida por fortes muralhas, e o povo fechou-se dentro da cidade para não ser atacado. Os soldados de Josué não conseguiam transpor essas muralhas, então ele ordenou a seus sacerdotes que tocassem suas trombetas e fez com que todos os seus homens gritassem o máximo possível. O barulho foi tanto que as muralhas tremeram e desabaram. Os soldados de Josué invadiram a cidade e massacraram seus habitantes, fossem mulheres, crianças, bois, ovelhas ou jumentos.

Os soldados queimaram tudo, exceto a prata e o ouro, reservados para seu deus, como ele havia mandado. Do modo como o mito é contado, isso foi bom: o deus do povo de Josué queria que isso acontecesse para que seu povo se apoderasse de todas as terras que haviam pertencido aos habitantes de Jericó.

Como Jericó é um lugar muito sujeito a terremotos, supõe-se hoje que essa lenda tenha começado com um terremoto verdadeiro, ocorrido muito tempo antes, que teria abalado violentamente a cidade e derrubado suas muralhas. Você pode imaginar como uma lembrança popular remota sobre um terremoto desastroso pode ter sido exagerada e distorcida através dos tempos conforme foi sendo transmitida oralmente por gerações que desconheciam a escrita, até por fim se transformar na lenda do grande herói tribal Josué e de seu escarcéu de berros e toques de trombeta.

Os dois mitos descritos nas páginas anteriores podem ter começado com terremotos específicos, que realmente aconteceram. Em todo o mundo encontramos outras histórias que surgiram com a tentativa de entender os terremotos.

Como o Japão já sofreu inúmeros terremotos, não é de surpreender que ali tenham nascido mitos sobre esses desastres.

Um deles diz que a Terra flutuava nas costas de um bagre gigante chamado Namazu. Toda vez que ele balançava a cauda, a Terra tremia.

Milhares de quilômetros ao sul do Japão, os maori da Nova Zelândia, que ali chegaram em canoas e se estabeleceram alguns séculos antes da chegada dos navegadoress europeus, acreditavam que a Mãe Terra estava grávida do deus Ru. Toda vez que o bebê se mexia ou se espreguiçava dentro do útero da mãe, ocorria um terremoto.

Mais ao norte, algumas tribos da Sibéria acreditavam que a Terra se assentava sobre um trenó puxado por cães, conduzido por um deus chamado Tull. Os pobres cachorros tinham pulgas e quando se coçavam provocavam um terremoto.

Em uma lenda da África Ocidental, a Terra é um disco sustentado de um lado por uma grande montanha e do outro por um gigante cuja esposa segura o céu. De vez em quando, o gigante e sua mulher se abraçam; então, como você já deduziu, a Terra se move.

Outras tribos da África Ocidental acreditavam que viviam em cima da cabeça de um gigante. A floresta era o cabelo dele, e as pessoas e animais eram como pulgas andando sobre sua cabeça.

Os terremotos aconteciam quando o gigante espirrava. Pelo menos se supõe que eles acreditavam nisso, embora eu não ache provável.

Hoje sabemos o que realmente é um terremoto, e está na hora de deixar os mitos de lado e apresentar a verdade.

O QUE REALMENTE É UM TERREMOTO?

Primeiro precisamos conhecer a extraordinária história das placas tectônicas.

Todo mundo sabe como é um mapa-múndi. Conhecemos a forma da África e a da América do Sul, e sabemos que esses continentes são separadas pelo vasto oceano Atlântico. Identificamos facilmente a Austrália, e sabemos que logo a sudoeste fica a Nova Zelândia. Imaginamos que a Itália lembra uma bota prestes a chutar a "bola de futebol" que é a Sicília, e há quem ache a Nova Guiné parecida com um pássaro. Reconhecemos facilmente os contornos da Europa, ainda que dentro dela as fronteiras vivam mudando. Impérios vêm e vão, fronteiras entre os países mudam frequentemente ao longo da história, mas o contorno dos continentes permanece igual. É mesmo? Na verdade, não. Eles se movem, embora muito lentamente, devemos admitir. E as posições das cadeias de montanhas, como os Alpes, o Himalaia, os Andes e as Rochosas, também se movem. É verdade que esses grandes marcos geográficos se mantêm fixos na escala temporal da

O mundo hoje Nova Guiné ▼

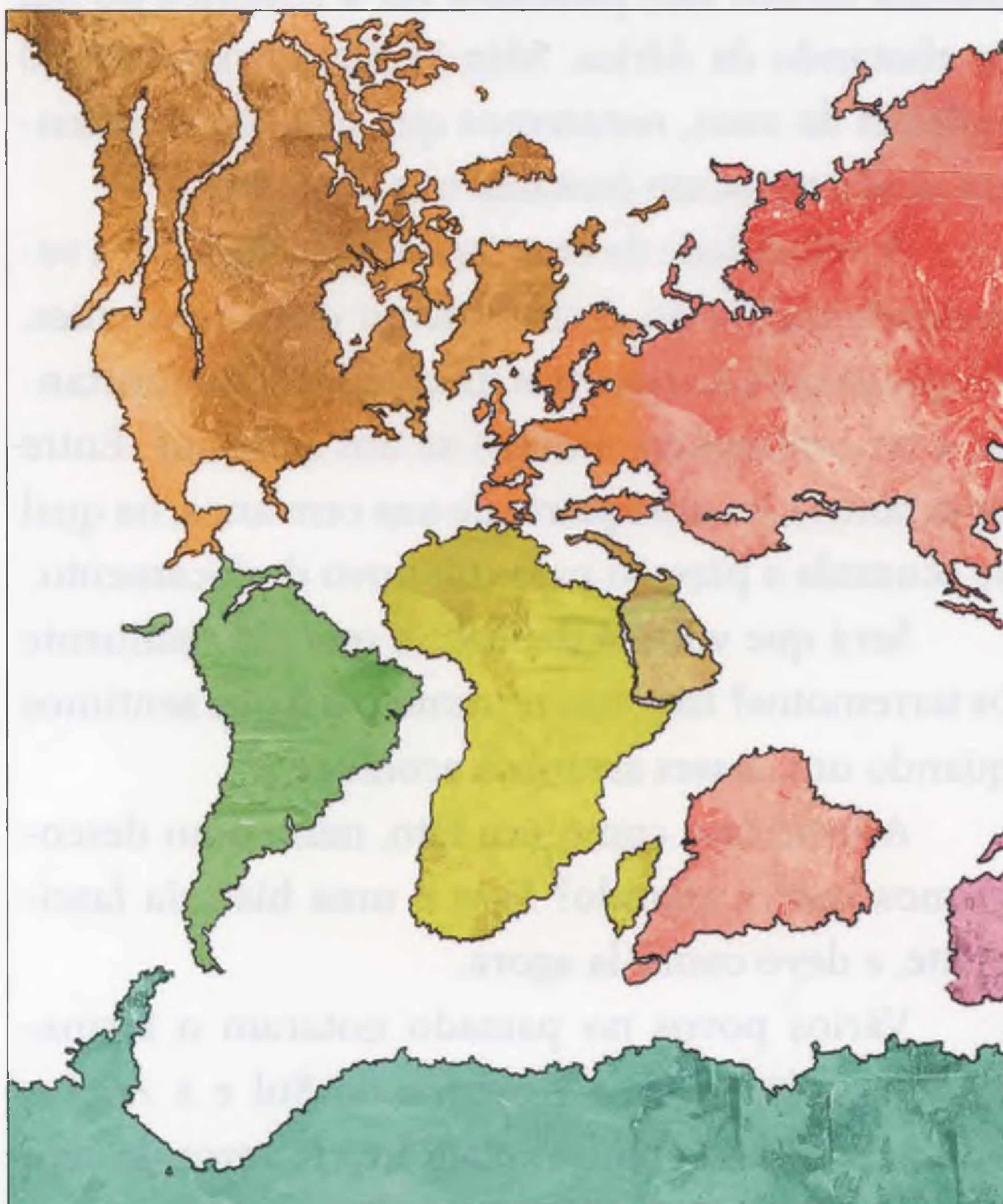
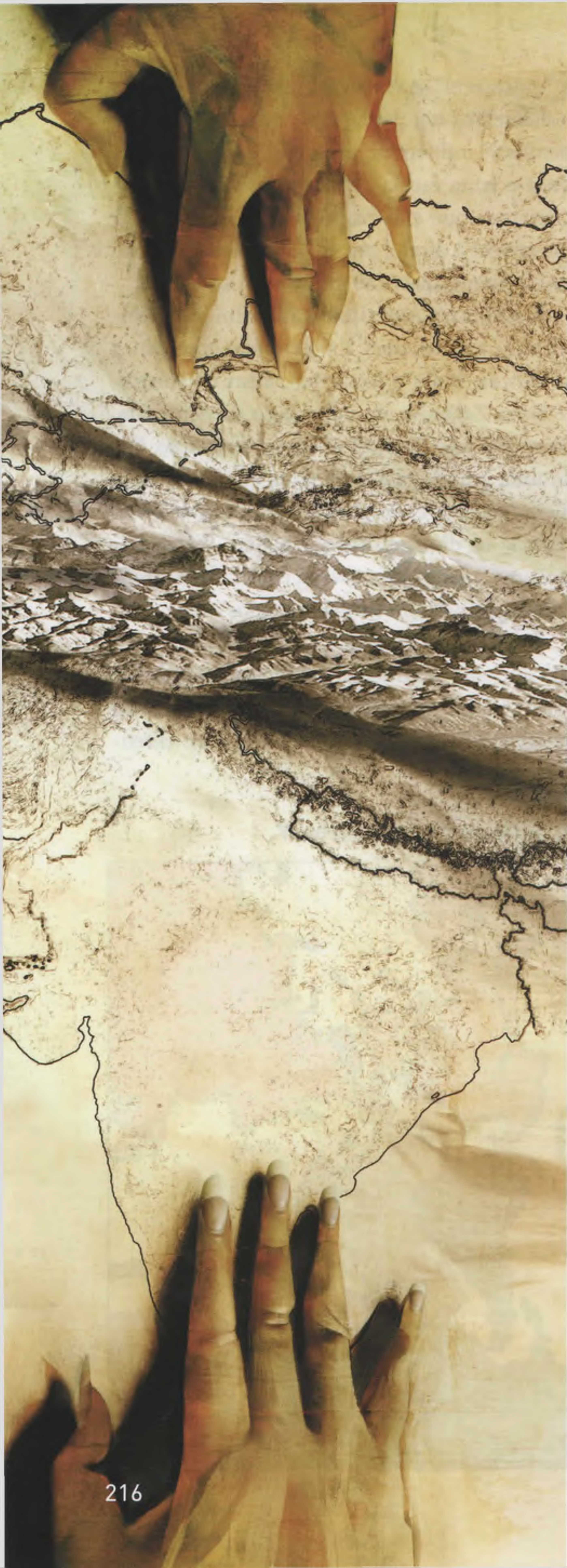
história humana. Mas, se a Terra fosse capaz de pensar, para ela nossa escala temporal seria insignificante. A história escrita começou há cerca de 5 mil anos. Se voltássemos no tempo 1 milhão de anos (duzentas vezes a existência da história), os continentes teriam quase as mesmas formas de hoje, se vistos pelos nossos olhos. Mas, se voltássemos 100 milhões de anos, o que veríamos?

Dê uma olhada no mapa abaixo. Nele, o oceano Atlântico sul é um canal estreito comparado ao que é hoje, e temos a impressão de que daria para ir nadando da África à América do Sul. O norte da Europa está bem perto da Groenlândia, que por sua vez quase gruda no Canadá. Olhe onde está a Índia. Não faz parte da Ásia, está lá embaixo, perto de Madagascar, inclinada. A África se inclina para o mesmo lado, em comparação com sua posição mais aprumada de hoje.

Pensando bem, ao olhar um mapa moderno, você já reparou que o leste da América do Sul é estranhamente parecido com o oeste da África, como se fossem peças de um quebra-cabeça que "quisessem" se encaixar uma na outra? Pois, se voltássemos um pouco mais no tempo (se voltássemos 50 milhões de anos, mas isso é pouco na imensa e lenta escala de tempo geológica), descobriríamos que elas realmente se encaixam. O mapa abaixo à direita mostra como eram os continentes meridionais 150 milhões de anos atrás.

A África e a América do Sul eram totalmente unidas, não só uma à outra, mas também a Madagascar, Índia e Antártida, além de Austrália e Nova Zelândia, do outro lado da Antártida, embora não seja possível vê-las na ilustração. Era tudo uma grande massa de terra que chamamos de Gondwana (é claro que não se chamava assim na época; os dinossauros que viviam lá não davam nome a nada). Gondwana mais tarde se fragmentou, gerando um continente após outro.

Que história mais estranha, não? Parece absurdo que algo tão imenso quanto um continente possa mover-se por milhares de quilômetros. Mas hoje sabemos que isso aconteceu, e mais: entendemos como.

100 milhões de anos atrás ▼

150 milhões de anos atrás ▼

Como a Terra se move

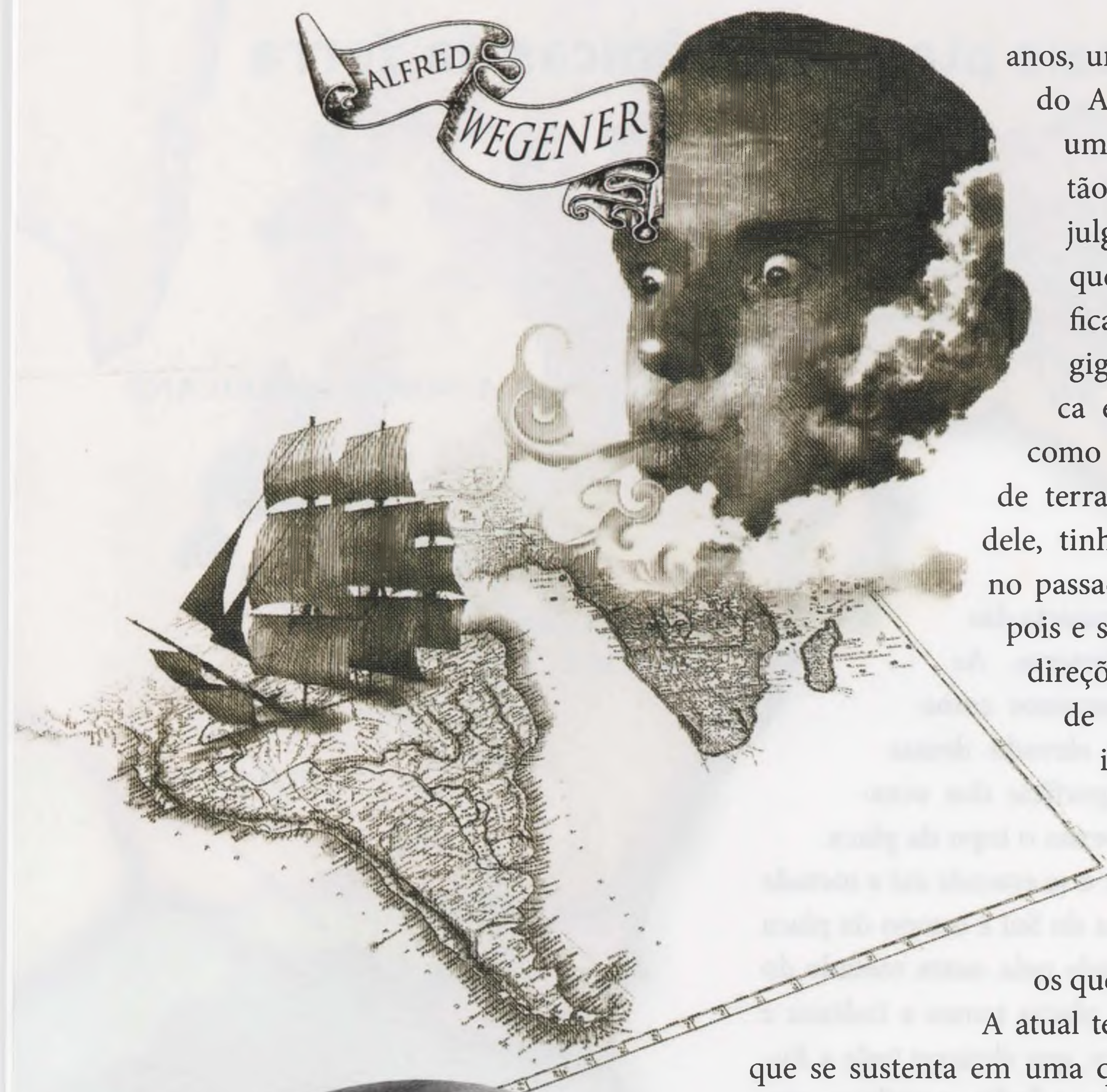
Também sabemos que os continentes não apenas se afastam uns dos outros: eles às vezes colidem, e quando isso ocorre gigantescas cadeias de montanhas são empurradas na direção do céu. Foi assim que a cordilheira do Himalaia se formou: quando a Índia trombou com a Ásia. Na verdade, como logo veremos, o que trombou com a Ásia foi algo muito maior, uma "placa" em cima da qual estava a Índia. Todos os continentes se assentam sobre essas placas, e logo trataremos delas, mas primeiro vamos pensar mais um pouco sobre essas colisões e o afastamento dos continentes.

Quando você ouve falar em colisão, talvez pense em um choque súbito, como uma trombada de um caminhão com um carro. Não foi assim que aconteceu (e acontece). O movimento dos continentes ocorre muito, muito lentamente. Alguém já disse que é a mesma velocidade com que as unhas crescem. Se você ficar olhando suas unhas, não as verá crescer. Mas, se esperar algumas semanas, verá que estão compridas e precisam ser cortadas. Da mesma forma, não podemos ver a América do Sul se afastando da África. Mas, se esperarmos uns 50 milhões de anos, notaremos que os dois continentes se distanciaram bastante um do outro.

A velocidade de crescimento das unhas é a velocidade média do deslocamento dos continentes. Só que as unhas crescem a uma velocidade constante, e os continentes movem-se aos arrancos. Entre os arrancos, há uma pausa de uns cem anos, na qual se acumula a pressão para um novo deslocamento.

Será que você já deduziu o que são realmente os terremotos? Isso, um terremoto é o que sentimos quando um desses arrancos acontece.

Afirmo isso como um fato, mas como descobrimos isso, e quando? Essa é uma história fascinante, e devo contá-la agora.

Vários povos no passado notaram o formato de encaixe entre a América do Sul e a África, mas não sabiam como explicá-lo. Há cerca de cem

anos, um cientista alemão chamado Alfred Wegener apresentou uma hipótese ousada. Ela era tão ousada que muita gente o julgou louco. Wegener supôs que os continentes tinham ficado à deriva no mar como gigantescos navios. A África e a América do Sul, bem como as demais grandes massas de terra meridionais, na hipótese dele, tinham sido um único bloco no passado. Desmembraram-se depois e se deslocaram pelo mar em direções distintas. Essa era a ideia de Wegener, e riram dele por isso. Mas descobriu-se que o cientista alemão estava certo — ou quase certo, e seguramente muito mais certo do que os que riram dele.

A atual teoria das placas tectônicas, que se sustenta em uma quantidade enorme de evidências, não é exatamente igual à teoria de Wegener. Ele tinha mesmo razão quando disse que África, América do Sul, Índia, Madagascar, Antártida e Austrália um dia haviam sido unidas e depois se separaram. Mas o modo como isso aconteceu, segundo a teoria da tectônica das placas, é um pouco diferente do que Wegener pensava. Ele supunha que os continentes tinham se deslocado lentamente pelo mar flutuando não na água, mas em camadas moles, derretidas ou semiderretidas da crosta terrestre. A moderna teoria da tectônica das placas vê toda a crosta da Terra, incluindo o fundo do mar, como um conjunto completo de placas interligadas. Portanto, não são apenas os continentes que se movem, mas também as placas onde eles se assentam, e não existe nenhum pedacinho da superfície do planeta que não faça parte de uma delas.

Principais placas tectônicas da Terra

A maior parte da área da maioria das placas tectônicas está submersa. As massas de terra que conhecemos como continentes são o terreno elevado dessas placas e despontam na superfície dos oceanos. Portanto, a África é apenas o topo da placa africana, que é muito maior e se estende até a metade do Atlântico sul. A América do Sul é o topo da placa sul-americana, que se estende pela outra metade do Atlântico sul. Entre outras placas temos a indiana e a australiana, a euro-asiática, que abrange toda a Europa e a Ásia, exceto a Índia, a arábica, que é bem pequena e se encaixa entre a placa euro-asiática e a africana, e a placa norte-americana, que inclui a Groenlândia e a América do Norte, e se estende até a metade do oceano Atlântico norte. Existem ainda algumas placas que quase não contêm terra firme, como a enorme placa do Pacífico, por exemplo.

PLACA EURO-ASIÁTICA

PLACA ARÁBICA

PLACA INDIANA

PLACA FILIPINA

PLACA AFRICANA

PLACA AUSTRALIANA

Podemos ver na ilustração abaixo que a divisão entre a placa sul-americana e a placa africana percorre longitudinalmente o meio do Atlântico sul, a quilômetros de distância de cada um desses continentes. Lembre-se de que as placas incluem o fundo do mar, e isso significa rocha dura. Mas então como é que a América do Sul e a África se encaixavam 150 milhões de anos atrás? Wegener não teve problemas com isso, pois pensava que os próprios continentes ficavam à deriva. Mas, se a América do Sul e a África um dia foram unidas, como a tectônica das placas explica toda a rocha dura submarina que hoje separa esses continentes? Será que as partes submersas das placas rochosas cresceram?

AMÉRICA DO SUL

PLACA SUL-AMERICANA
← ESTEIRA ROLANTE

O assoalho oceânico

Sim. A resposta está no espalhamento do assoalho oceânico. Sabe as esteiras rolantes que a gente vê em grandes aeroportos para ajudar as pessoas a percorrer o longo caminho entre a entrada, o terminal e o salão de embarque? Em vez de andar, elas sobem numa esteira e são levadas até algum ponto onde precisam andar de novo. A esteira rolante do aeroporto tem largura suficiente para duas pessoas ficarem lado a lado. Mas agora imagine uma esteira rolante que tenha milhares de quilômetros de largura, estendendo-se por quase todo o caminho do Ártico à Antártida. E imagine que, em vez de mover-se numa velocidade de caminhada, ela se mova à velocidade com que as unhas crescem. Sim, você já adivinhou. A América do Sul, assim como toda a placa sul-americana, está sendo levada para longe da África e da placa africana em algo parecido com uma esteira rolante que jaz nas profundezas do leito marinho e vai do extremo norte ao extremo sul do oceano Atlântico, movendo-se muito lentamente.

E quanto à África? Por que a placa africana não se move na mesma direção, e por que ela não alcança a placa sul-americana?

Porque a África está sobre outra esteira rolante, que se desloca na direção oposta. A esteira rolante africana segue de oeste para leste, enquanto a sul-americana vai de leste para oeste. Então o que está acontecendo no meio? Da próxima vez que você for a um grande aeroporto, pare um pouco antes de subir na esteira rolante e observe. Ela emerge de uma fenda no chão e se move para longe de você. É um cinturão que rola sem parar, seguindo para a frente acima do chão e para trás, vindo na sua direção, sob o chão. Agora imagine outra esteira, aparecendo pela mesma fenda, mas seguindo na direção oposta. Se você puser um pé em cada esteira, será forçado a abrir as pernas como um ginasta.

No fundo do oceano Atlântico, o equivalente dessa fenda no chão é a chamada dorsal mesoatlântica, que percorre o leito oceânico do extremo sul ao extremo norte.

As duas "esteiras" emergem pela dorsal mesoatlântica e seguem em direções opostas, uma levando a América do Sul para oeste, outra levando a África para leste. E, assim como as esteiras dos aeroportos, as gigantescas esteiras que movem as placas tectônicas fazem meia-volta e retornam através das profundezas da Terra.

Da próxima vez que você for a um aeroporto, suba na esteira rolante e deixe que ela o leve enquanto você imagina que é a África (ou a América do Sul, se preferir). Quando chegar à outra ponta da esteira e descer, observe-a mergulhar no subsolo, pronta para fazer o caminho de volta até o lugar onde você embarcou nela.

A esteira rolante do aeroporto é movida por motores elétricos. O que move as esteiras rolantes que levam as imensas placas da Terra com sua carga de continentes? Muito abaixo da superfície da Terra existe o que chamamos de correntes de convecção. E o que é uma corrente de convecção? Talvez você tenha em casa um aquecedor convector elétrico. Vejamos como ele aquece um ambiente. O aparelho aquece o ar. O ar quente sobe porque é menos denso que o ar frio (é assim que funcionam os balões de ar quente). O ar quente sobe até atingir o teto, então não pode subir

ÁFRICA

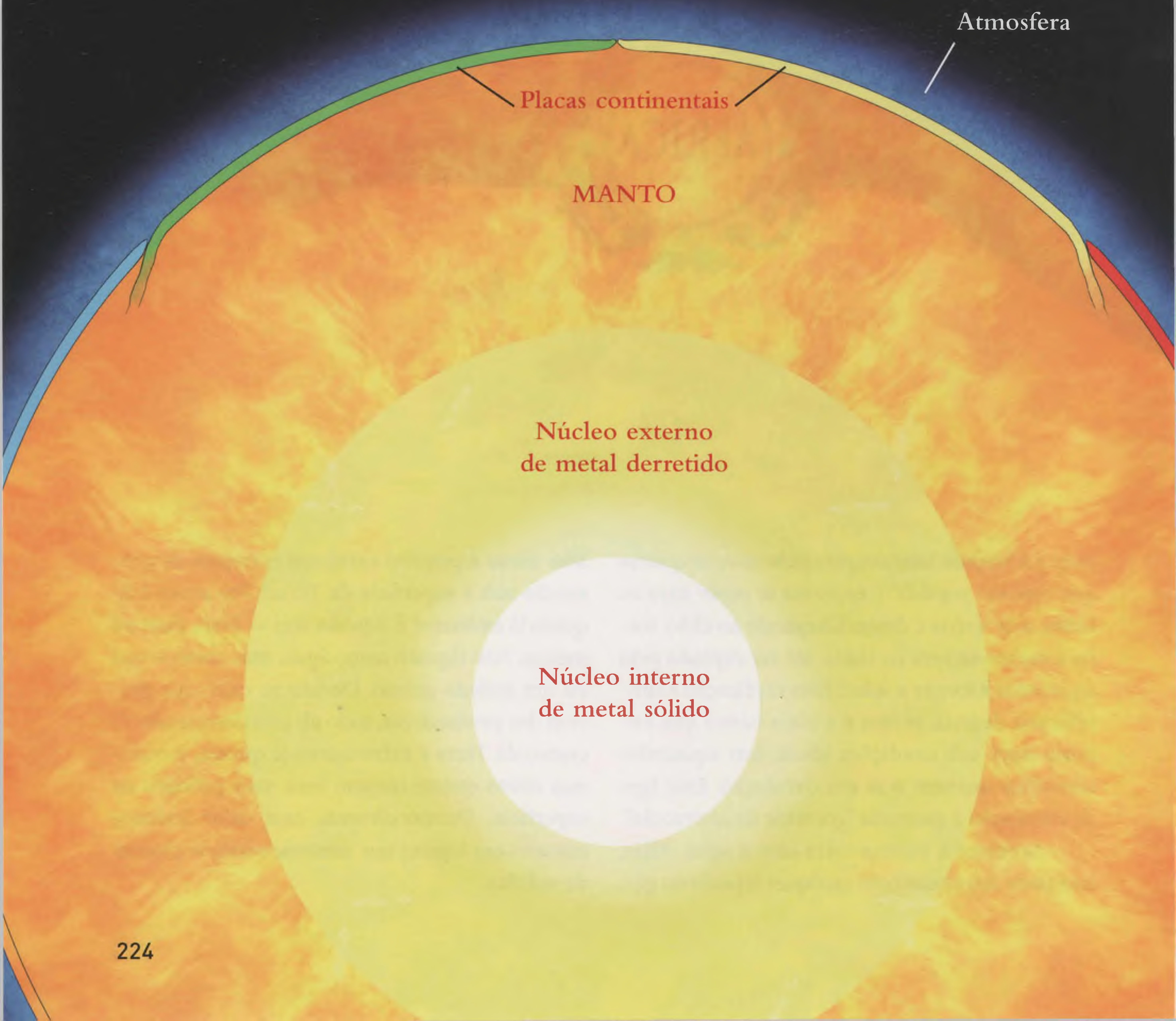
Corrente de convecção

mais e é forçado lateralmente pelo novo ar quente que vem em seguida. Conforme se move para os lados, o ar resfria e desce. Chegando ao chão, torna a mover-se para os lados, até ser captado pelo aquecedor e tornar a subir. Essa explicação é simplificada demais, porém é a ideia básica que importa aqui: sob condições ideais, um aquecedor convector mantém o ar em circulação. Esse tipo de circulação é chamada "corrente de convecção".

Acontece a mesma coisa com a água. Aliás, isso pode acontecer com qualquer líquido ou gás. Mas como é possível existirem correntes de convecção sob a superfície da Terra? Por acaso é líquido lá embaixo? É líquido, sim — bem, mais ou menos. Não líquido como água, mas como o mel ou um melado grosso. Devido ao calor que provém das profundezas, tudo ali está derretendo. O centro da Terra é extremamente quente, e continua muito quente mesmo bem mais próximo da superfície. Ocasionalmente esse calor irrompe nos ares em lugares que convencionamos chamar de vulcões.

Movido pelo calor

As placas são feitas de rocha dura e, como vimos, a maioria delas está sob o mar. Cada uma tem vários quilômetros de espessura. Essa grossa couraça é denominada litosfera, que literalmente significa "esfera de rocha". Sob a esfera de rocha existe uma camada ainda mais espessa, por incrível que pareça, que não é chamada de "esfera de melado", mas deveria ser (é o manto superior). As duras placas rochosas da esfera de rocha "flutuam", por assim dizer, sobre a esfera de melado. O calor das profundezas, embaixo e na própria esfera de melado, gera correntes de convecção muito lentas no melado, e são essas correntes que transportam as gigantescas placas rochosas flutuantes.

As correntes de convecção seguem caminhos complicados. Pense nas numerosas correntes oceânicas, e até nos ventos, que são uma espécie de corrente de convecção veloz. Não é de admirar, portanto, que as várias placas na superfície da Terra sejam levadas em inúmeras direções, em vez de rodear o planeta como se estivessem todas num carrossel. Não é de admirar que as placas colidam ou

se afastem, mergulhem umas sob as outras ou raspem umas nas outras. E não é de admirar que essas forças titânicas se façam sentir — triturando, arrancando, rugindo, raspando — em forma de terremoto. Os terremotos são terríveis, mas é admirável que não sejam ainda mais terríveis.

Às vezes uma placa, ao se mover, entra embaixo de uma placa vizinha. É a chamada "subdução". Parte da placa africana, por exemplo, está deslizando para baixo da placa euro-asiática. Essa é uma das razões de acontecerem terremotos na Itália, e foi por isso que o monte Vesúvio entrou em erupção na Roma Antiga e destruiu as cidades de Pompeia e Herculano (isso porque vulcões tendem a emergir na orla das placas). A cordilheira do Himalaia, que inclui o monte Everest, brotou do chão e atingiu toda aquela altura forçada pela subdução da placa indiana em relação à placa euro-asiática.

Já que começamos com a Falha de San Andreas, terminemos com ela. Trata-se de um longo "deslizamento", em linha razoavelmente reta, entre a placa do Pacífico e a placa norte-americana. As duas movem-se para noroeste, mas a do Pacífico é muito mais rápida. A cidade de Los Angeles está sobre a placa do Pacífico, e não sobre a norte-americana, e se aproxima inexoravelmente de San Francisco, que se encontra, em sua maior parte, sobre a placa norte-americana. Podemos esperar terremotos frequentes em toda essa região, e os especialistas preveem que haverá um deles, de grande intensidade, em cerca de dez anos. Felizmente, ao contrário do Haiti, a Califórnia está bem preparada para lidar com as terríveis consequências para as vítimas dos terremotos.

Um dia, partes de Los Angeles podem acabar em San Francisco. Mas vai demorar muito, e nenhum de nós estará vivo para ver isso.

11 POR QUE COISAS RUINS ACONTECEM?

POR QUE coisas ruins acontecem? Depois de um desastre pavoroso, um terremoto ou furacão, ouvimos comentários assim:

"É uma injustiça. Eles realmente não mereciam isso!"

Se um bom sujeito contrai uma doença dolorosa e morre, enquanto uma pessoa má goza de ótima saúde, novamente lamentamos:

"Que injustiça!"

Ou protestamos:

"Que tipo de justiça é essa?"

É difícil resistir ao sentimento de que deve existir algum tipo de justiça natural. Coisas boas deveriam acontecer a pessoas boas. Coisas ruins, se tiverem de acontecer, que seja às pessoas más. Na divertida peça *A importância de ser prudente*, de Oscar Wilde, uma governanta idosa chamada srta. Prism conta que muito tempo atrás escreveu um romance. Quando lhe perguntam se a história tem final feliz, ela responde: "Os bons acabam bem e os maus acabam mal. É este o sentido da ficção". A vida real é diferente. Coisas ruins acontecem, e

tanto para gente boa como para gente má. Por quê? Por que a vida real não é como a ficção da srta. Prism? Por que coisas ruins acontecem?

Muita gente acredita que seus deuses tencionavam criar um mundo perfeito, mas, infelizmente, algo saiu errado — e há muitas ideias do que exatamente saiu errado. A tribo dogon, da África ocidental, acredita que no começo do mundo havia um ovo cósmico do qual nasceram gêmeos. Tudo estaria bem se esses gêmeos tivessem saído do ovo ao mesmo tempo. Por azar, um deles saiu cedo demais e estragou o plano de perfeição dos deuses. Segundo os dogon, essa é a razão por que coisas ruins acontecem.

Existe uma profusão de lendas sobre o surgimento da morte no mundo. Em toda a África, diferentes tribos acreditam que um camaleão recebeu a notícia da vida eterna e a ordem de levá-la aos humanos. Infelizmente, ele andava tão devagar (e eles andam mesmo, eu sei porque tive um camaleão de estimação quando era menino na África chamado Hookariah) que a notícia da morte, levada por um lagarto ligeirinho (ou um animal mais veloz em outras versões da lenda) chegou primeiro. Em uma lenda da África ocidental, a notícia da vida foi levada por um sapo lerdo, ultrapassado por um cão veloz que levava a notícia da morte. Não entendo por que *a ordem em que a notícia chega* deveria ter importância. Má notícia é sempre má, chegue quando chegar.

A doença é um tipo de coisa ruim que deu origem a uma profusão de mitos. Uma das razões disso é que, por muito tempo, elas foram um mistério. Nossos ancestrais enfrentavam outros perigos — leões, tigres, tribos inimigas, fome —, mas eles eram visíveis e podiam ser compreendidos. Já a varíola, a Peste Negra e a malária provavelmente lhes pareciam surgidas do nada, sem aviso, e ninguém sabia como se proteger desses ataques. Era um mistério aterrador. De onde vinham as doenças? O que fizemos para merecer uma morte dolorosa, uma torturante dor de dente ou manchas horríveis pelo corpo? Não admira que as pessoas apelassem para a superstição em suas tentativas desesperadas de entender as doenças e proteger-se delas. Em muitas tribos africanas, até bem pouco tempo atrás, qualquer pessoa que adoecesse ou tivesse um filho enfermo automaticamente pensava em culpar um bruxo ou uma bruxa. Se o filho tinha febre, devia ser porque um inimigo pagara a um feiticeiro para botar um feitiço nele. Talvez fosse porque o pobre pai não teve recursos para sacrificar uma cabra quando o bebê nasceu, ou porque uma lagarta verde atravessou seu caminho e ele se esqueceu de cuspir o mau espírito.

Na Grécia Antiga, peregrinos adoentados passavam a noite em um templo dedicado a Esculápio, o deus da cura e da medicina. Acreditavam que ele os curaria ou lhes revelaria a cura em um sonho. Até hoje, um número surpreendentemente grande de pessoas doentes viajam a lugares como Lourdes, onde mergulham em um lago sagrado na esperança de que a água santa as cure (o mais provável é que peguem uma doença da multidão que se banhou na mesma água). Cerca de 200 milhões de pessoas fizeram a peregrinação a Lourdes nos últimos 140 anos, esperando se curar. Em muitos casos a doença não é tão grave, e a maioria felizmente melhora — teria melhorado mesmo sem a peregrinação.

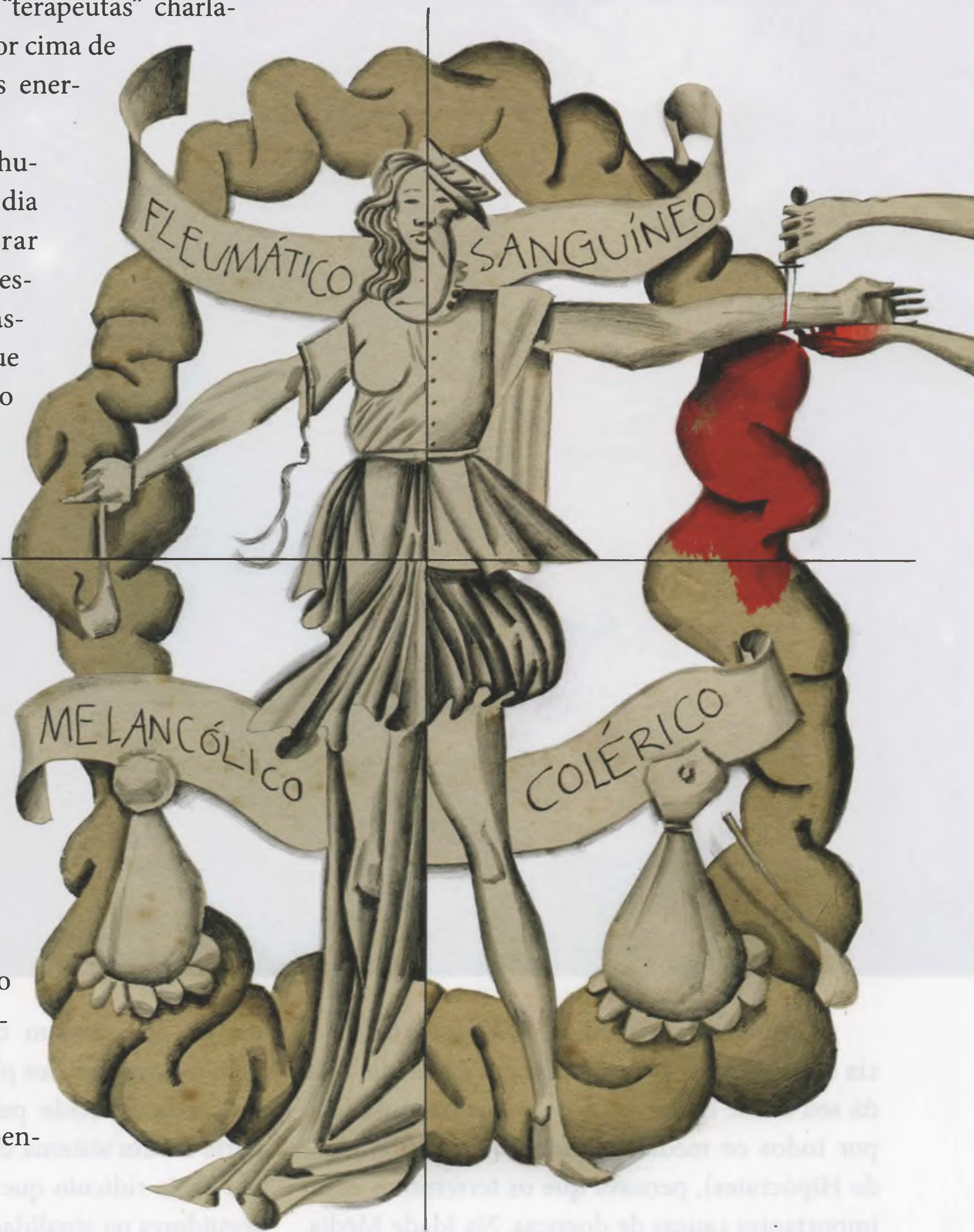
Hipócrates, o médico e filósofo da Grécia Antiga que é considerado pai da medicina e dá seu nome ao juramento de boa conduta feito por todos os médicos ainda hoje (o juramento de Hipócrates), pensava que os terremotos eram importantes causas de doenças. Na Idade Média, muitos acreditavam que elas eram provocadas pelo movimento dos planetas em relação ao pano de fundo formado pelas estrelas. Essa crença é parte de um sistema chamado astrologia, o qual, por mais ridículo que pareça, ainda tem muitos seguidores na atualidade.

O mais persistente dos mitos sobre saúde e doença — o mito dos quatro "humores" — durou do século v a.C. até o século xviii d.C. Quando dizemos "Hoje ele está de bom humor", é daí que vem o termo, embora agora as pessoas não acreditem mais na ideia por trás dessa expressão.

Os quatro humores eram bile negra, bile amarela, sangue e fleuma. Pensava-se que uma boa saúde dependia de um bom "equilíbrio" entre esses quatro humores, e ainda hoje podemos ouvir coisas parecidas de "terapeutas" charlatães que passam as mãos por cima de você para "equilibrar suas energias" ou seus "chacras".

A teoria dos quatro humores certamente não podia ajudar os médicos a curar doenças, mas talvez não fizesse grande mal se não levasse à prática da sangria, que envolvia abrir uma veia do paciente com um instrumento afiado chamado lanceta e tirar grandes quantidades de sangue, despejadas em uma vasilha especial. É claro que isso deixava o pobre paciente ainda mais enfermo (tendo contribuído para a morte do presidente americano George Washington). Mas os médicos acreditavam tanto no milenar mito dos humores que usavam o tratamento vezes sem conta. E mais: as pessoas não se submetiam a sangrias apenas quando estavam doentes. De tempos em tempos, pediam a um médico que lhes fizesse sangrias como prevenção.

Quando eu era criança, certa vez o professor pediu que pensássemos qual era a razão de as doenças existirem. Um menino levantou a mão e respondeu que coisas ruins aconteciam porque pecamos. Ainda hoje, muita gente pensa que algo assim causa as coisas ruins. Alguns mitos sugerem que elas acontecem porque nossos ancestrais fizeram algo perverso muito tempo atrás. Já men-

cionei o mito judaico de Adão e Eva, antecessores da humanidade. Se você se lembra, os dois fizeram uma coisa simplesmente terrível: deixaram-se persuadir pela serpente e comeram o fruto da árvore proibida. Esse crime mítico reverberou por eras e ainda hoje é considerado por muita gente o responsável pelas coisas ruins que acontecem no mundo.

Muitos mitos falam sobre um conflito entre deuses bons e deuses maus (ou demônios). Os deuses maus são responsáveis pelas coisas ruins que acontecem no mundo. Ou então há um único espírito maligno, chamado Diabo ou coisa parecida, que luta contra um deus bom (ou deuses). Se não houvesse essa disputa entre demônios e deuses, ou deuses bons e deuses maus, coisas ruins não aconteceriam.

Por que coisas ruins *realmente* acontecem?

POR QUE *alguma coisa* acontece? Essa é uma questão complicada de responder, mas é mais sensata do que "Por que coisas *ruins* acontecem?". Não há razão para dar atenção especial às coisas ruins, a menos que ocorram com mais frequência do que o acaso pode explicar ou que se pense que deve existir algum tipo de justiça natural, e nesse caso as coisas ruins só deveriam acontecer com pessoas más.

Será que acontecem coisas ruins com mais frequência do que deveríamos esperar em razão do acaso? Se for assim, então realmente aí está algo que pede explicação. Talvez você já tenha ouvido alguém gracejar sobre a "Lei de Murphy". Diz essa lei: "Quando você deixa cair uma torrada, o lado da geleia sempre acaba para baixo". Ou, de modo mais geral: "Se algo pode dar errado, dará". Muita gente faz graça com isso, mas às vezes temos a sensação de que essas pessoas pensam que é mais do que uma piada. Parecem mesmo acreditar que o mundo está contra elas.

Faço alguns documentários para a televisão, e uma das coisas que podem dar errado em filmagens externas é o barulho indesejado. Quando um avião ronca à distância, temos de parar de filmar e esperar que ele passe, e isso pode ser muito irritante. Filmes ambientados em séculos passados são arruinados pelo menor vestígio de ruído de avião. Os cineastas têm a superstição de que os aviões escolhem os momentos em que o silêncio é mais importante para sobrevoar a área, e invocam a Lei de Murphy para explicar isso.

Recentemente, uma equipe de filmagem com a qual eu trabalhava escolheu um local onde tínhamos certeza de que o barulho seria o menor possível: uma vasta campina perto de Oxford. Chegamos de manhã bem cedo, para garantir ainda mais a paz e o silêncio — e demos de cara com um escocês solitário praticando com sua gaita de foles (provavelmente porque sua mulher o tinha enxotado de casa). "Lei de Murphy!", proclamamos. A verdade, claro, é que existe barulho a maior parte do tempo, mas o *notamos* apenas quando ele nos irrita, por exemplo quando interfere nas filmagens. A probabilidade de notarmos o que nos incomoda é altíssima, e isso nos leva a pensar que o mundo está contra nós de propósito.

No caso da torrada, não é uma surpresa que caia com a geleia para baixo com mais frequência do que para cima. Como as mesas não são muito altas, a torrada começa com a geleia para cima e em geral só há tempo para meia rotação antes de chegar ao chão. Mas o exemplo da torrada é apenas um modo pitoresco de expressar a pessimista ideia de que

"Se algo pode dar errado, dará!"

O exemplo a seguir pode ser mais representativo da Lei de Murphy: "Quando você joga uma moeda, quanto mais desejar cara, maior a probabilidade de sair coroa".

Essa, pelo menos, é a visão pessimista. Há otimistas que pensam que, quanto mais queremos cara, maior a probabilidade de obtê-la. Talvez se possa chamar isso de "Lei de Poliana": a crença otimista de que as coisas geralmente acontecem do melhor modo. Ou então "Lei de Pangloss", lembrando um personagem do grande escritor francês Voltaire. Seu dr. Pangloss achava que tudo de melhor havia de acontecer neste que é o melhor dos mundos possíveis.

Dito assim, fica fácil ver por que a Lei de Murphy e a Lei de Poliana são bobagens. Moedas e torradas não têm como conhecer a força dos nossos desejos, muito menos vontade própria para frustá-los ou realizá-los. Além disso, o que é ruim para uma pessoa pode ser bom para outra. Tenistas adversários rezam fervorosamente pela vitória, mas um deles tem de perder! Não há razão especial para perguntar por que acontecem coisas ruins. Ou, analogamente, por que acontecem coisas boas. A verdadeira questão por trás dessas duas perguntas é: por que *alguma coisa* acontece?

Sorte, acaso e causa

Há quem diga que tudo acontece por uma razão. Em certo sentido, é verdade. Tudo o que acontece *tem* uma razão, ou seja, os eventos têm causas, e a causa sempre vem antes do evento. Os tsunamis ocorrem devido a terremotos no fundo do mar, e os terremotos acontecem como consequência do deslocamento das placas tectônicas da Terra, como vimos no capítulo 10. Esse é o verdadeiro sentido da ideia de que tudo acontece por uma razão: "razão" significa "causa anterior". Mas algumas pessoas usam "razão" em um sentido muito diferente, querendo dizer "propósito". E dizem coisas como

"O tsunami foi um castigo pelos nossos pecados"

ou

"O tsunami veio para destruir boates, danceterias, bares e outros lugares pecaminosos".

É espantoso que tantas pessoas apelem a disparates desse tipo.

Talvez seja um vestígio da infância. Os psicólogos infantis concluíram que, quando perguntam a crianças por que uma pedra é pontuda, elas rejeitam uma explicação que lhes mostre as causas científicas e preferem respostas como: "Para que os animais possam usá-las para se coçar". A maioria delas descarta mais tarde esse tipo de explicação para as pedras pontudas. Mas muitos adultos parecem incapazes de se desvencilhar desse tipo de hipótese quando se trata de um infortúnio, como ser vítima de um terremoto, ou de boa sorte, como escapar vivo de um.

E quanto ao azar? Isso existe realmente? E a sorte? Algumas pessoas são mais sortudas do que outras? Às vezes ouvimos dizer que alguém está numa maré de azar. Ou então uma pessoa comenta: "Tanta coisa ruim anda acontecendo comigo que chegou a hora de eu ter sorte". Ou ainda: "Fulano é azarado, parece que tudo dá errado para ele".

"Está na hora de eu ter sorte" é um exemplo do frequente erro de interpretação da lei das médias. No jogo de críquete, geralmente faz grande diferença para um time poder começar o jogo rebatendo. Os capitães das duas equipes jogam cara ou coroa para decidir quem terá essa vantagem, e a torcida vibra quando seu capitão acerta. Recentemente, antes de uma partida entre Índia e Sri Lanka, em uma página do Yahoo havia a seguinte pergunta:

> *"Dhoni* [o capitão indiano] *terá sorte novamente no cara ou coroa?"*

Entre as respostas recebidas foi escolhida como melhor (não sei por quê) a seguinte:

> *"Acredito plenamente na lei das médias, por isso aposto que Sangakkura* [o capitão do Sri Lanka] *terá sorte e ganhará o cara ou coroa".*

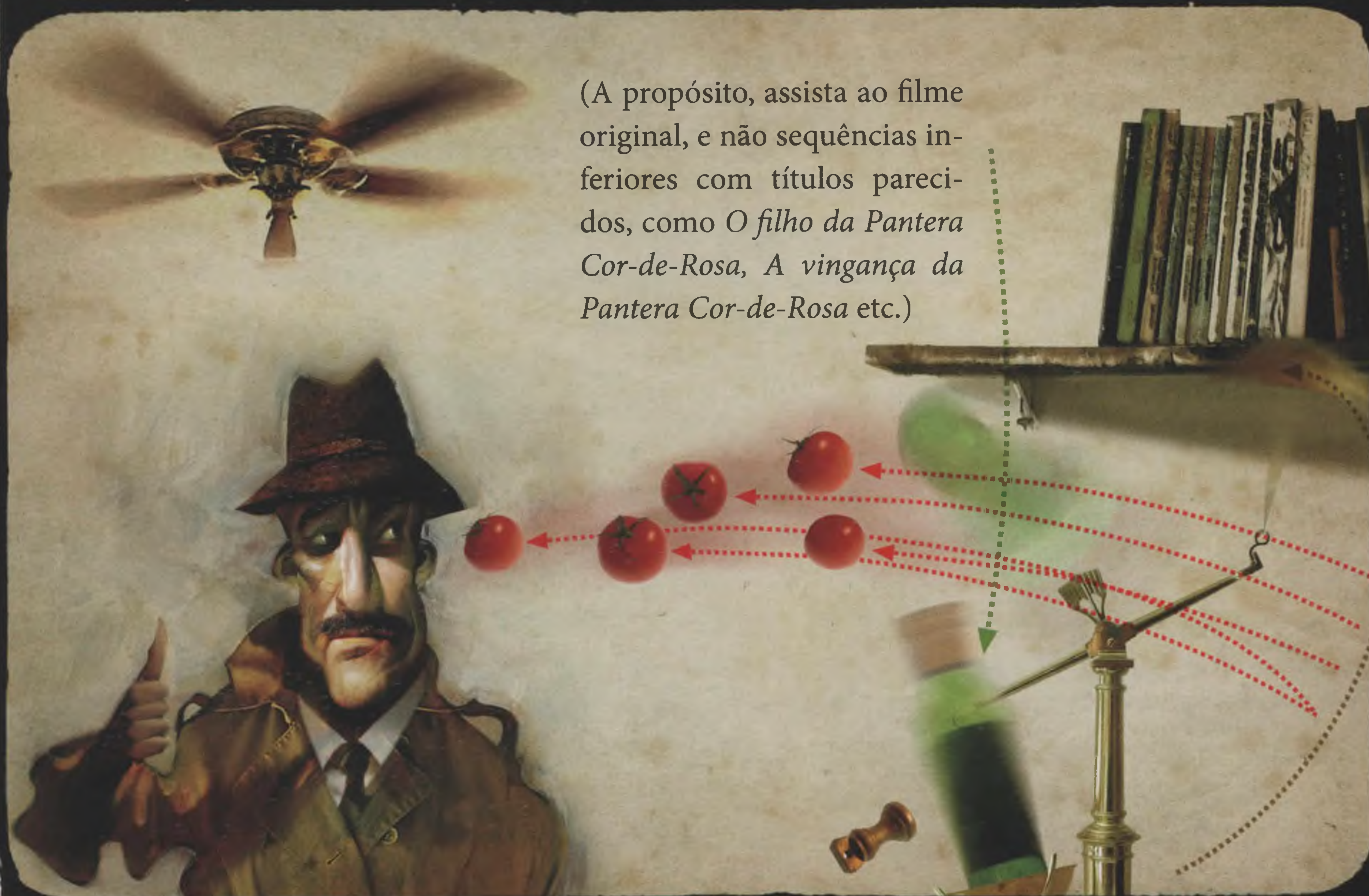
Percebe a bobagem? Em uma série de partidas anteriores, Dhoni ganhara no cara ou coroa. Moedas não têm preferência por uma pessoa ou outra. E a mal compreendida lei das médias deveria, então, garantir que Dhoni, por ter tido sorte nas outras ocasiões, agora perdesse *para compensar.* Em outras palavras, a ideia era que chegara a *vez* de Sangakkura ganhar no cara ou coroa. Ou que seria *injusto* Dhoni ganhar de novo. Mas a realidade é que, independentemente de quantas vezes Dhoni ganhara no cara ou coroa antes, a probabilidade de ele vencer nesse jogo *sempre* é de 50%. "Vez" e "justiça" não têm absolutamente nada a ver com isso. *Nós* podemos nos importar com justiça ou injustiça, mas uma moeda não está nem aí. E o universo também não.

É verdade que, se você jogar uma moeda mil vezes, provavelmente obterá cerca de quinhentas caras e quinhentas coroas. Mas suponha que você jogou a moeda 999 vezes e até agora só tenha dado cara. Qual seria sua aposta para a última jogada? Segundo a sempre mal entendida lei das médias, você deveria apostar em coroa, porque é a *vez* da coroa, e seria uma enorme *injustiça* dar cara de novo. Mas eu apostaria em cara, e você também, se for esperto. Uma sequência de 999 caras sugere que essa moeda está viciada ou que há um truque no modo de jogá-la. A má compreensão da lei das médias é a ruína de muitos apostadores.

É verdade que, depois de tudo já ter acontecido, podemos dizer: "Sangakkura teve azar por perder no cara ou coroa, porque com isso a Índia, sem ter errado nenhuma rebatida, conseguiu marcar muitos pontos". Não há nada de errado nisso. Estamos simplesmente comentando que desta vez ganhar no cara ou coroa realmente fez diferença, por isso quem acertou o resultado da moeda nesta ocasião específica teve sorte. O que *não* devemos dizer é que, como Dhoni já havia ganhado no cara ou coroa tantas vezes antes, agora era a vez de Sangakkura. E jamais devemos dizer coisas como: "Dhoni é um bom jogador, mas a verdadeira razão pela qual deve ser escolhido para capitão é que ele tem muita sorte no cara ou coroa". Sorte em jogar moedas não é uma qualidade que alguém possa ter. Podemos dizer que um jogador rebate ou lança bem. Mas não podemos dizer que ele é bom ou ruim no cara ou coroa.

Por essa mesma razão, é tolice alguém achar que pode melhorar sua sorte usando um amuleto pendurado no pescoço. Ou fazendo figa atrás das costas. Coisas assim não têm como influenciar o que acontece com você, exceto no modo como você se sente — dando-lhe mais confiança e assim acalmando seus nervos antes de um saque numa partida de tênis, por exemplo. Mas não têm nada a ver com sorte. Isso é psicologia.

Algumas pessoas são consideradas "propensas a acidentes". Tudo bem se isso significar que elas são estabanadas ou tendem a tropeçar ou a sofrer outros acidentes.

Se quiser ver um exemplo muito engraçado de propensão para acidentes, assista ao hilariante filme *A Pantera Cor-de-Rosa*, com Peter Sellers no papel do inspetor Jacques Clouseau. O personagem vive sofrendo acidentes embaraçosos e cômicos, mas isso porque ele é um sujeito atrapalhado, e não por ser sempre azarado, como alguns dizem.

(A propósito, assista ao filme original, e não sequências inferiores com títulos parecidos, como *O filho da Pantera Cor-de-Rosa, A vingança da Pantera Cor-de-Rosa* etc.)

Poliana e paranoia

Vimos, portanto, que coisas ruins, assim como coisas boas, não acontecem com frequência maior do que o acaso pode explicar. O universo não possui uma mente, sentimentos ou personalidade, por isso ele não faz coisas de propósito para agradar ou desagradar a você. Coisas ruins acontecem porque *coisas* acontecem. O fato de elas serem boas ou ruins do nosso ponto de vista não influencia em nada a probabilidade de ocorrerem. Certas pessoas acham difícil aceitar isso. Preferem pensar que os pecadores serão castigados, que a virtude será recompensada. Infelizmente, o universo não dá a mínima para o que as pessoas preferem.

Mas agora, depois de ter dito tudo isso, eu paro e reflito. É engraçado, mas tenho de admitir que uma coisa meio parecida com a Lei de Murphy é verdade. Embora inquestionavelmente não seja verdade que o clima ou um terremoto têm a intenção de prejudicar você (pois eles não se importam com a sua pessoa, nem para o bem nem para o mal), as coisas são um pouco diferentes quando se trata do mundo vivo. Se você fosse um coelho, uma raposa gostaria de comê-lo. Se fosse uma sardinha, um golfinho ia querer pegá-lo. Não estou dizendo que a raposa ou o golfinho pensam a esse respeito, embora isso seja até possível. Eu poderia dizer da mesma maneira que um vírus gostaria de infectar você, mas ninguém acredita que vírus pensem em alguma coisa. A evolução pela seleção natural fez os vírus, as raposas e os golfinhos se comportarem de um modo que causa danos às suas vítimas, como se estivessem deliberadamente querendo prejudicá-los. Não podemos atribuir esse mesmo tipo de tendência aos terremotos e às avalanches. Eles são danosos para suas vítimas, mas não têm a intenção de *agir* de uma maneira específica. Terremotos e avalanches apenas acontecem.

A seleção natural, a luta pela existência, como definiu Charles Darwin, significa que todo ser vivo tem inimigos que se empenham em derrubá-lo. E às vezes os truques que esses inimigos naturais usam parecem ter sido astuciosamente planejados. A teia de aranha, por exemplo, é um ardil engenhoso para apanhar insetos incautos. Um pequeno inseto chamado formiga-leão cava na areia uma armadilha para pegar suas presas.

Ele fica esperando sob a areia, no fundo da cova cônica que cavou, para pegar qualquer formiga que caia ali. Ninguém está dizendo que a aranha e a formiga-leão são engenhosas, que *planejaram* sua astuciosa arapuca. Mas a seleção natural levou essas duas espécies a desenvolver um cérebro que se comporta de um modo que, para nós, *parece* engenhoso. Da mesma forma que o corpo de um leão parece engenhosamente projetado para pegar antílopes e zebras. E, quando nos imaginamos na pele de um antílope, podemos ter mesmo a impressão de que um leão que espreita, persegue e dá o bote vive planejando acabar conosco.

É fácil ver que os predadores (animais que matam e comem outros animais) agem de um modo que prejudica suas presas. Mas também é verdade que as presas agem de um modo que prejudica seus predadores. Fazem de tudo para escapar e, se conseguirem, seus predadores morrem de fome. O mesmo se aplica aos parasitas e seus hospedeiros. E também a membros da mesma espécie, que estão todos competindo uns contra os outros. Quando viver é fácil, a seleção natural favorece a evolução de aperfeiçoamentos nos inimigos, sejam eles predadores, parasitas, hospedeiros ou competidores, e esses aperfeiçoamentos tornarão a vida difícil de novo. Terremotos e tornados são abomináveis e até poderiam ser chamados de inimigos, mas não estão "a fim de nos pegar" no mesmo sentido que os predadores e parasitas.

Isso tem consequências para o tipo de atitude mental que podemos esperar de qualquer animal selvagem, como o antílope. Se você fosse um antílope e ouvisse o capinzal farfalhar, poderia ser apenas o vento balançando a folhagem. Nada para se preocupar, pois o vento não quer pegar você; ele é completamente indiferente aos antílopes e seu bem-estar. Mas a folhagem pode estar farfalhando porque ali há um leopardo de tocaia, e um leopardo com toda a certeza quer você. Sua carne tem um gosto bom para ele, e a seleção natural favoreceu os ancestrais do leopardo que eram bons em pegar antílopes. Por isso, antílopes, coelhos e sardinhas, assim como a maioria dos outros animais, precisam estar em alerta constante. O mundo está cheio de predadores perigosos, e é mais seguro pressupor que a Lei de Murphy é verdade. Vamos traduzir isso na linguagem de Charles Darwin, a linguagem da seleção natural: os animais que agem como se a Lei de Murphy fosse ver-

dade têm maior probabilidade de sobreviver e se reproduzir do que os que seguem a Lei de Poliana.

Nossos ancestrais passaram a maior parte da vida sob ameaça mortal de leões e crocodilos, pítons e tigres-de-dente-de-sabre. Portanto, provavelmente faz sentido uma pessoa encarar o mundo com suspeita (há quem diga paranoia), vendo um provável perigo em cada farfalhar do capim, em cada estalido de galho seco, e supondo que alguma coisa está querendo pegá-la, que há um agente tramando deliberadamente sua morte. "Tramar" é a palavra errada, se isso significa que se trata de algo planejado. Mas é fácil traduzir essa ideia na linguagem da seleção natural: "Há inimigos no mundo, moldados pela seleção natural para se comportar como se estivessem planejando me matar. O mundo não é neutro ou indiferente ao meu bem-estar. Ele está a fim de me pegar. A Lei de Murphy pode ou não ser verdade, mas me comportar como se fosse é mais seguro que acreditar na Lei de Poliana".

Talvez essa seja uma razão por que, até hoje, muitas pessoas têm crenças supersticiosas de que o mundo pretende prejudicá-las. Quando isso vai longe demais, usamos o termo "paranoia".

Doença e evolução — um processo em andamento?

Como eu disse, os predadores não são os únicos que querem nos pegar. Os parasitas, que sobrevivem alimentando-se do nosso corpo, são uma ameaça mais furtiva, mas igualmente perigosa. Entre eles incluem-se os vermes (como a tênia e a lombriga), as bactérias e os vírus. Predadores como o leão também se alimentam de corpos, mas em geral é clara a distinção entre eles. O parasita se alimenta de uma vítima que ainda está viva (embora ele possa acabar matando-a), e em geral é menor que ela. O predador é maior que sua vítima (como o gato, que é maior que o camundongo); se for menor (como o leão é menor do que a zebra), a diferença de tamanho não é tão grande. Os predadores matam as presas de uma vez e as devoram. Os parasitas matam suas vítimas mais devagar, e elas podem continuar vivas por muito tempo enquanto eles se alimentam dentro delas.

Muitos parasitas atacam em grande número, como quando temos uma forte infecção por causa do vírus da gripe ou do resfriado. Os parasitas que são pequenos demais para ser vistos a olho nu em geral são chamados de "germes", um termo impreciso. Entre eles incluem-se os vírus, que são muito pequenos, as bactérias, que são maiores que os vírus, mas ainda assim são diminutas (alguns vírus parasitam bactérias) e outros organismos unicelulares, como o parasita da malária, muito maior que as bactérias, mais ainda pequeno demais para ser visto sem microscópio. A linguagem não possui uma denominação geral para esses parasitas unicelulares maiores. Alguns são chamados de protozoários, porém esse termo está ultrapassado. Outros parasitas importantes são os fungos, como o que causa o pé de atleta (seres grandes como os cogumelos dão uma falsa ideia de como a maioria dos fungos é).

Exemplos de doenças bacterianas são: tuberculose, alguns tipos de pneumonia, coqueluche, cólera, difteria, lepra, escarlatina, furúnculo e tifo. Entre as doenças virais estão sarampo, catapora, cachumba, varíola, herpes, hidrofobia, poliomielite, muitas variedades de gripe e o que chamamos de "resfriado comum". Malária, disenteria amebiana e doença do sono são doenças causadas por protozoários. Outros parasitas importantes, que podem ser vistos a olho nu, são os vários tipos de vermes, como os platelmintos e os nematelmintos. Quando eu era garoto, morei numa fazenda, e várias vezes encontrei animais mortos, como

doninhas e toupeiras. Estava aprendendo biologia na escola, de modo que passei a dissecar os pequenos cadáveres que encontrava. O que mais me impressionava era a imensa quantidade de vermes vivos que fervilhavam nos corpos (vermes redondos tecnicamente chamados de nematódeos). Eu nunca via isso nos ratos e coelhos domesticados que nos davam para dissecar nas aulas.

O corpo tem um sistema muito engenhoso e geralmente eficaz de defesa natural contra parasitas, o sistema imunológico. Ele é tão complexo que precisaríamos de um livro inteiro para explicá-lo. Em poucas palavras, quando o corpo percebe um parasita perigoso ele se mobiliza para produzir células especiais, que são levadas pelo sangue para a batalha, como um exército, fabricadas sob medida para atacar os parasitas específicos que estão atacando. Em geral, o sistema imunológico vence, e a pessoa se recupera. Depois disso, ele se "lembra" do equipamento molecular que criou para aquela batalha específica, e qualquer infecção subsequente pelo mesmo tipo de parasita é rechaçada tão rápido que nem notamos. É por isso que, depois de contrair uma doença como sarampo, cachumba ou catapora, é provável que nunca mais a tenhamos. Antigamente se achava bom que uma criança pegasse cachumba, por exemplo, porque assim a "memória" do sistema imunológico a protegeria dessa doença na idade adulta (a cachumba é ainda mais desagradável para os adultos, especialmente os homens, pois ataca os testículos). A engenhosa técnica da vacinação produz um efeito parecido. Em vez de nos fazer pegar a doença em si, o médico nos dá uma versão mais fraca dela, ou uma injeção com germes mortos, para estimular o sistema imunológico sem que sejamos atacados pela doença de fato. A versão mais fraca é muito menos prejudicial do que a doença real. Aliás, é comum nem notarmos efeito nenhum. Mas o sistema imunológico se "lembra" dos germes mortos ou da infecção com a versão branda da doença e fica armado para combater a doença real se algum dia ela aparecer.

O sistema imunológico tem uma tarefa difícil: "decidir" o que é "estranho" (e deve ser combatido) e o que deve ser aceito como parte do corpo. Isso pode ser bastante complicado quando uma mulher está grávida, por exemplo. O bebê dentro dela é "estranho" (nenhum bebê é geneticamente idêntico à mãe, pois metade dos genes provém do pai). Mas é importante que o sistema imunológico não o combata. Esse foi um dos grandes problemas que ocorreu quando a gravidez evoluiu nos ancestrais dos mamíferos. Ele foi resolvido —

afinal, muitos bebês conseguem sobreviver no útero o tempo necessário para nascer. Mas também acontecem muitos abortos, o que talvez indique que a evolução teve muito trabalho para solucionar esse problema e a solução ainda é imperfeita. Mesmo hoje, muitos bebês só sobrevivem graças à ajuda médica — por exemplo, eles têm o sangue trocado quando nascem, nos casos extremos de reação do sistema imunológico.

Outro modo de o sistema imunológico "errar" é lutando com força exagerada contra um suposto "atacante". As alergias são isto: o sistema imunológico luta contra coisas inofensivas, com desperdício e até dano. Por exemplo, o pólen no ar costuma ser inofensivo, mas o sistema imunológico de algumas pessoas reage a ele com muita intensidade. Nesse caso, ocorre a reação alérgica chamada febre de feno: a pessoa espirra, seus olhos lacrimejam, e o incômodo é enorme. Certas pessoas são alérgicas a gatos ou cães: seu sistema imunológico reage com exagero a moléculas inofensivas no pelo desses animais. Existem alergias muito perigosas. Uma minoria de pessoas é alérgica a amendoim, e comer um só pode matá-las.

Às vezes, a reação do sistema imunológico é tão descomunal que a pessoa tem alergia a si mesma! Isso causa as doenças autoimunes, como a alopecia (cabelos ou pelos caem em tufos porque o corpo ataca os folículos) e a psoríase (manchas rosadas e escamosas aparecem na pele).

Não admira que às vezes o sistema imunológico reaja com exagero, pois é muito fácil errar, deixando de atacar quando seria preciso ou atacando sem necessidade. É o mesmo tipo de problema que vimos no caso do antílope que tenta decidir se deve ou não correr quando o mato farfalha. Será um leopardo? Ou apenas um ventinho inofensivo agitando o capim? Será uma bactéria perigosa ou um grão de pólen inócuo? Fico pensando se as pessoas que têm um sistema imunológico hiper-reativo e desenvolvem alergias e até doenças autoimunes não seriam menos propensas a sofrer com certos tipos de vírus e parasitas.

Esses problemas de "calibragem" são muito comuns. É possível ser excessivamente "avesso ao risco": muito sobressaltado, tratando cada farfalhar do mato como um perigo ou desencadeando uma forte resposta do sistema imunológico contra um inocente amendoim ou os próprios tecidos do corpo. E é possível ser confiante em demasia, deixar de reagir a um perigo quando ele é real ou não dar uma resposta imunológica quando existe mes-

Gotícula de muco

Como o sistema imunológico lida com o ataque do vírus da gripe (à direita)

Primeira sequência: ataque bem-sucedido
(1) O vírus da gripe se aproxima de uma célula. **(2)** A chave do vírus se encaixa na fechadura da célula (receptor na superfície celular) **(3)** permitindo a entrada do vírus na célula, onde se replica. **(4)** Centenas de vírus emergem da célula infectada.

Segunda sequência: corpo combate o ataque
(1) Células-T do sistema imunológico se aproximam do vírus **(2)** e aderem a ele. **(3)** O vírus não se encaixa na fechadura da célula e não consegue mais adentrá-la.

mo um parasita perigoso. Distinguir é difícil, e há penalidades para ambos os tipos de erro.

O câncer é um caso especial de coisa ruim que acontece: é uma coisa estranha, mas importante. Um câncer é um grupo de células que pararam de fazer o que deveriam fazer no corpo e se tornaram parasitas. Em geral, as células cancerosas se agrupam em um tumor, que cresce descontroladamente, alimentando-se de uma parte do corpo. Os casos mais graves de câncer se espalham para outras partes do corpo (num processo chamado metástase) e acabam matando o paciente. Esses tumores são chamados de malignos.

O câncer é tão perigoso porque suas células derivam diretamente de células do corpo. São células nossas, ligeiramente modificadas. Isso significa que o sistema imunológico tem dificuldade em reconhecê-las como estranhas. Também significa que é muito difícil encontrar um tratamento que mate o câncer, pois qualquer método terapêutico que possamos imaginar — um veneno, por exemplo — tende a matar também nossas células sadias. É muito mais fácil matar bactérias, pois as células bacterianas diferem das nossas. Venenos que matam as células bacterianas, mas não as nossas, são chamados de antibióticos. A quimioterapia envenena células cancerosas, mas faz o mesmo com o resto do corpo, pois nossas células são muito semelhantes às cancerosas. Se a dose do remédio for excessiva, poderá matar o câncer, mas matará antes o pobre paciente.

Voltamos ao mesmo problema de decidir entre atacar inimigos verdadeiros (células cancerosas) e não atacar amigos (células normais): voltamos ao problema do leopardo no mato.

Quero encerrar este capítulo com uma especulação. Será que as doenças autoimunes são um subproduto de uma guerra evolucionária contra o câncer, ao longo de muitas gerações ancestrais? O sistema imunológico vence muitas batalhas contra células pré-cancerosas, suprimindo-as antes que tenham chance de se tornar plenamente malignas. Minha suposição é que, em sua constante vigilância contra células pré-cancerosas, o sistema imunológico às vezes exagera e ataca tecidos inofensivos e, com eles, as células do próprio corpo — e chamamos isso de doença autoimune. Será que a explicação para as doenças autoimunes é que elas são um indício de um processo evolutivo em andamento para produzir uma arma eficaz contra o câncer?

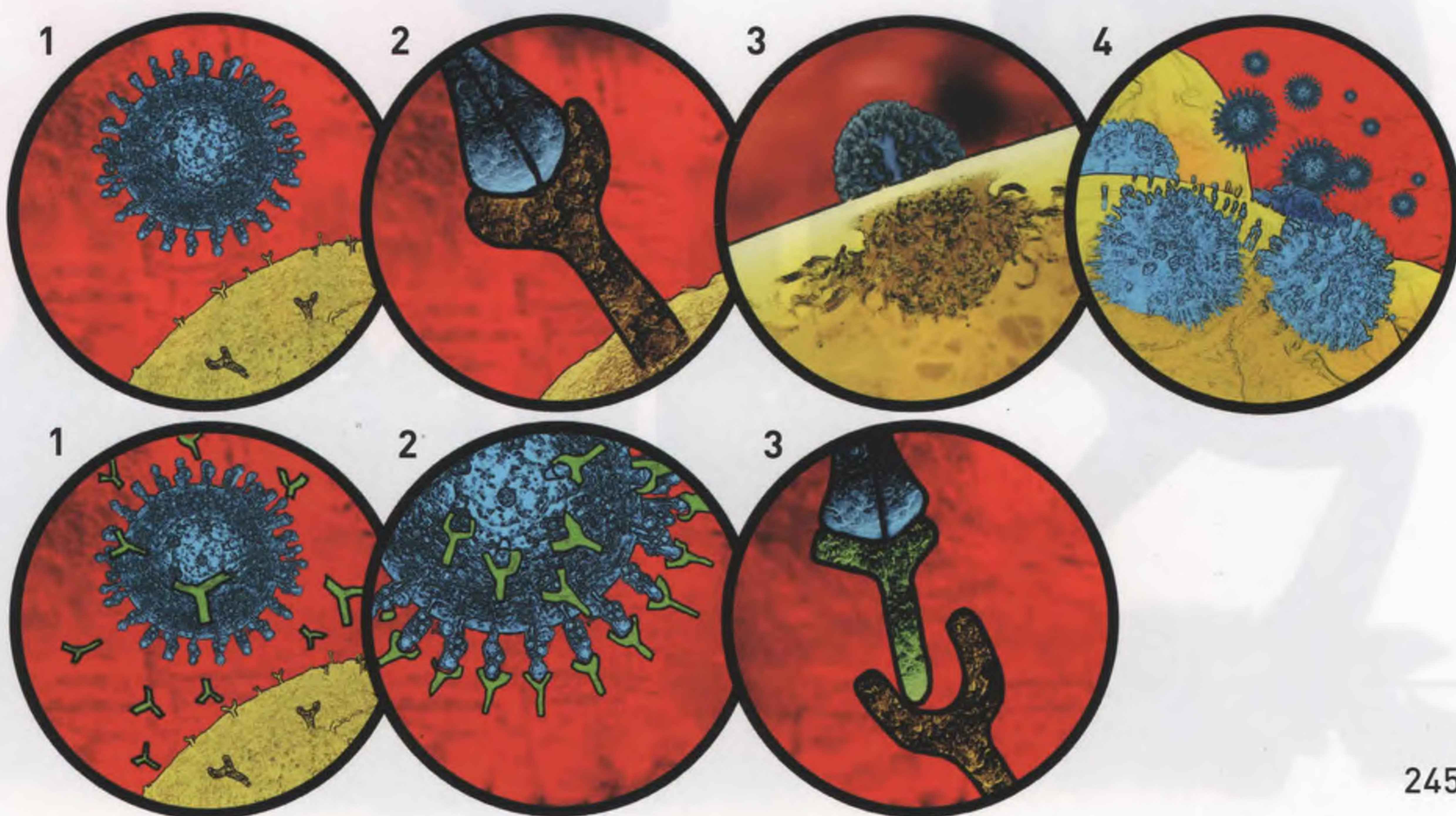
O que você acha?

1 2 3 4

1 2 3

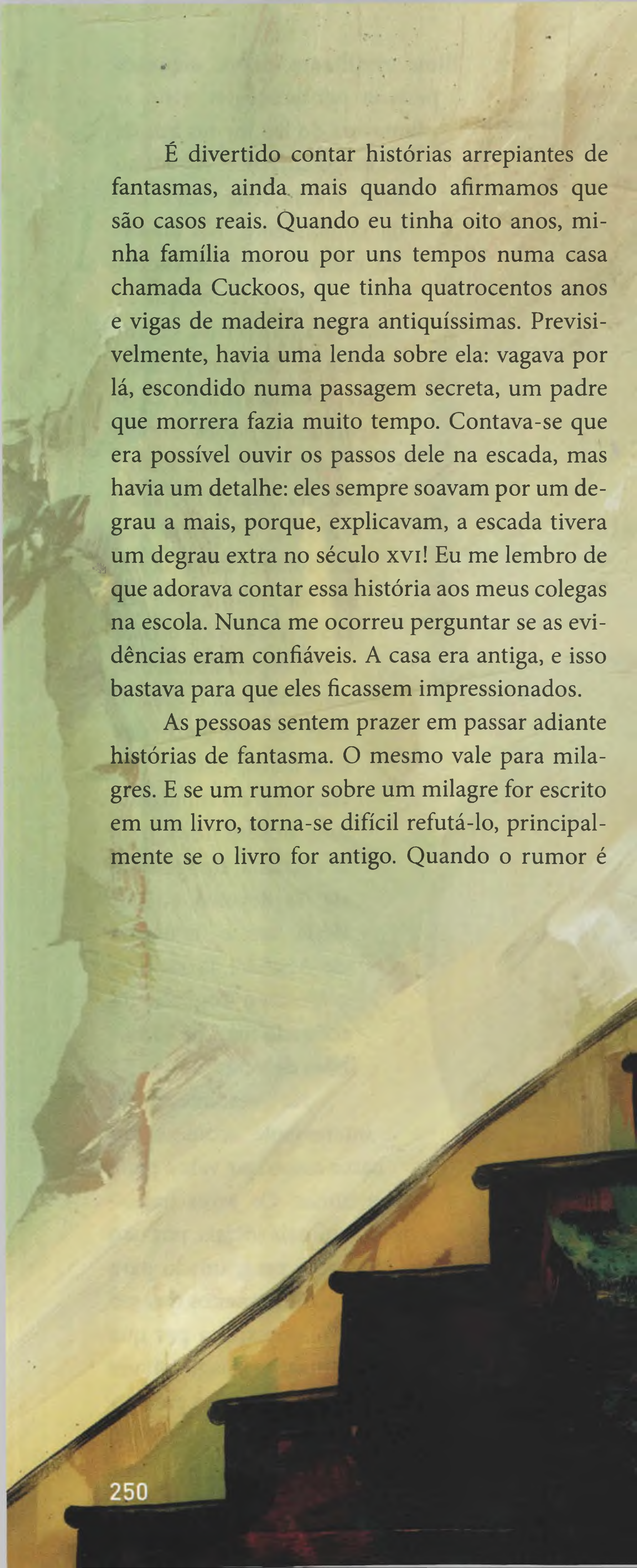
12

O que é um

MILAGRE?

NO PRIMEIRO capítulo deste livro falei sobre magia e mostrei a distinção entre a magia sobrenatural (um feitiço para transformar um sapo num príncipe ou esfregar uma lâmpada e conjurar um gênio) e os truques de mágica (o ilusionismo que transforma lenços num coelho ou serra uma mulher ao meio). Hoje, ninguém acredita na magia dos contos de fadas. Todo mundo sabe que só em *Cinderela* uma abóbora se transforma em carruagem e que tirar um coelho de uma cartola que parece vazia é um truque. Mas existem histórias sobrenaturais que ainda são levadas a sério, e muitos chamam de milagre os "eventos" que relatam. Diferentemente dos contos de fadas, nos quais ninguém acredita, e dos truques de mágica, que sabemos ser ilusão, este capítulo tem como tema os milagres, aquelas histórias de acontecimentos sobrenaturais em que muita gente ainda crê.

Algumas dessas histórias são fantasmagóricas, outras são lendas urbanas ou impressionantes coincidências. Por exemplo: "Sonhei com uma celebridade em quem não pensava havia muitos anos, e na manhã seguinte fiquei sabendo que ela morrera durante a noite". Há numerosos relatos de centenas de religiões do mundo que são considerados milagre. Por exemplo, uma lenda conta que, há cerca de 2 mil anos, um pregador judeu itinerante chamado Jesus estava em uma festa de casamento quando o vinho acabou. Ele pediu água e usou seus poderes milagrosos para transformá-la em vinho — um vinho excelente, diz a história. Pessoas que ririam da ideia de que uma abóbora pode se transformar em carruagem e que sabem perfeitamente que lenços não viram coelhos, acreditam que um profeta transformou água em vinho ou, como creem devotos de outra religião, voou para o céu em um cavalo alado.

Boato, coincidência e histórias que vão sendo aumentadas

Em geral, quando ouvimos um relato sobre milagre, ele não vem de uma testemunha ocular, mas de alguém que ouviu outra pessoa contar, que ouviu de outro alguém, que por sua vez ouviu do primo da sogra da irmã... E qualquer história que passe de boca em boca acaba sendo deturpada. Muitas vezes, a fonte original é um boato que começou a se espalhar tempos atrás e foi sendo recontado até ficar tão distorcido que é quase impossível adivinhar que evento real lhe deu origem — se é que houve um evento real original.

Após a morte de alguém famoso, seja herói ou vilão, quase sempre histórias de que essa pessoa foi vista viva começam a correr o mundo. Foi assim com Elvis Presley, Marilyn Monroe e até Adolf Hitler. É difícil saber por que as pessoas gostam de passar adiante tais boatos quando os ouvem, mas o fato é que gostam, e essa é boa parte da razão porque os boatos se espalham.

Vejamos um exemplo recente de como um boato assim começa a se espalhar. Logo depois que o célebre cantor Michael Jackson morreu, em 2009, uma equipe de televisão norte-americana foi autorizada a filmar o interior de sua famosa mansão, chamada Neverland. Em uma cena do

filme resultante disso, algumas pessoas pensaram ter visto o fantasma do cantor no fim de um longo corredor. Assisti ao filme, e essa cena não é nada convincente. No entanto, bastou para desencadear boatos desvairados que se alastraram depressa. O fantasma de Michael Jackson está andando por aí! Logo apareceram visões imitando a primeira. Por exemplo, na página ao lado vemos a fotografia que um homem tirou da superfície polida de seu carro. Para você e para mim, especialmente se compararmos o "rosto" com as imagens dos dois lados, trata-se obviamente do reflexo de uma nuvem. Mas, para a excitada imaginação de fãs devotos, só poderia ser o fantasma de Michael Jackson, e o filme no YouTube foi acessado mais de 15 milhões de vezes!

Na verdade, algo interessante acontece em casos assim que vale a pena mencionar. Os seres humanos são animais sociais, por isso nosso cérebro é programado para ver rostos de outros humanos mesmo onde não existem. Isso explica por que com tanta frequência pessoas imaginam ver rostos em padrões aleatórios formados por nuvens, torradas ou manchas de umidade na parede.

É divertido contar histórias arrepiantes de fantasmas, ainda mais quando afirmamos que são casos reais. Quando eu tinha oito anos, minha família morou por uns tempos numa casa chamada Cuckoos, que tinha quatrocentos anos e vigas de madeira negra antiquíssimas. Previsivelmente, havia uma lenda sobre ela: vagava por lá, escondido numa passagem secreta, um padre que morrera fazia muito tempo. Contava-se que era possível ouvir os passos dele na escada, mas havia um detalhe: eles sempre soavam por um degrau a mais, porque, explicavam, a escada tivera um degrau extra no século XVI! Eu me lembro de que adorava contar essa história aos meus colegas na escola. Nunca me ocorreu perguntar se as evidências eram confiáveis. A casa era antiga, e isso bastava para que eles ficassem impressionados.

As pessoas sentem prazer em passar adiante histórias de fantasma. O mesmo vale para milagres. E se um rumor sobre um milagre for escrito em um livro, torna-se difícil refutá-lo, principalmente se o livro for antigo. Quando o rumor é

suficientemente antigo, começa a ser chamado de tradição, e as pessoas acreditam nele ainda mais. Isso é muito estranho. Como não percebem que os rumores antigos tiveram mais tempo para ser distorcidos do que os rumores sobre eventos mais recentes? Elvis Presley e Michael Jackson viveram até há pouco, não houve tempo para o desenvolvimento de tradições, por isso raras são as pessoas que acreditam em histórias como "Elvis foi visto em Marte". Mas, daqui a 2 mil anos, quem sabe?

E quanto àquelas histórias estranhas de pessoas que dizem ter sonhado com alguém que não viam havia muitos anos e quando acordaram encontraram uma carta dessa pessoa na caixa do correio? Ou que, ao acordar, ouviram ou leram que a pessoa morrera durante a noite? Você mesmo talvez já tenha vivido uma experiência desse tipo. Como explicar essas coincidências?

Ora, a explicação mais provável é que são apenas isso, coincidências, nada mais. A questão é: só nos damos ao trabalho de contar uma história quando acontece alguma coincidência estranha. De outra maneira, não a contamos. Ninguém comenta: "Esta noite sonhei com um tio em quem não pensava havia muitos anos, e quando acordei descobri que ele *não* morreu durante a noite!".

Quanto mais fantasmagórica a coincidência, é mais provável que a notícia sobre ela se espalhará. Às vezes, a pessoa acha o caso tão notável que o relata em uma carta para o jornal. Por exemplo, ela sonha, pela primeira vez na vida, com uma atriz que foi famosa no passado e está esquecida, e ao acordar descobre que ela morreu durante a noite. Uma visita de despedida em um sonho — que sobrenatural! Mas pensemos um pouco no que realmente aconteceu. Para que uma coincidência seja noticiada em jornal, basta que ela aconteça para uma única pessoa entre seus milhões de leitores. Tomando como exemplo apenas a Grã-Bretanha, cerca de 2 mil pessoas morrem por dia, e devem acontecer uns cem milhões de sonhos por noite. Analisando esses dados, é mesmo de esperar que de vez em quando alguém acorde e descubra que a pessoa com quem sonhou morreu durante a noite. E só esse alguém mandaria sua história para o jornal.

Outro detalhe é que as histórias vão sendo aumentadas conforme são recontadas. As pessoas gostam tanto de uma história que acrescentam uns floreios para melhorá-la um pouquinho. É tão divertido fazer os outros se arrepiarem exagerando um relato! Só um tantinho, para torná-lo mais interessante. E o próximo a repassar a história também exagera um pouco e assim por diante. Por exemplo, você acorda, descobre que alguém famoso morreu durante a noite e resolve investigar quando foi a morte exatamente. A resposta poderia ser: "Ah, deve ter sido *mais ou menos* às três da madrugada". Aí você calcula que poderia muito bem ter sonhado com essa pessoa *por volta* das três da manhã. E, antes que se dê conta, o "mais ou menos" e o "por volta de" já foram eliminados da história quando ela é recontada, tornando-se: "A pessoa morreu *exatamente* às três da madrugada, e foi *exatamente* nessa hora que o primo de um amigo da neta da minha sogra sonhou com ela".

Às vezes podemos identificar com precisão a causa de uma coincidência estranha. Um grande cientista americano chamado Richard Feynmam perdeu tragicamente a mulher, que morreu de câncer, e o relógio no quarto dela parou bem no momento da morte. Frio na espinha! Mas o doutor Feynman não era considerado um grande cientista à toa. Ele foi averiguar e descobriu a verdadeira explicação. O relógio estava com defeito. Se o inclinassem, ele parava. Quando a sra. Feynman morreu, a enfermeira precisou saber a hora da morte para informar no atestado de óbito. O quarto do hospital estava escuro, por isso ela pegou o relógio e o inclinou na direção da janela para enxergar o mostrador. Foi nesse momento que o relógio parou. Nada de milagre, apenas um mecanismo defeituoso.

Mesmo que não houvesse uma explicação assim, mesmo se a mola do relógio realmente tivesse parado justo no minuto em que a sra. Feynman morreu, não deveríamos nos impressionar demais. Sem dúvida a qualquer minuto de todos os dias e noites numerosos relógios param no país todo. E muita gente morre a cada dia. Repetindo meu argumento: ninguém se dá o trabalho de espalhar "notícias" como "Meu relógio parou exatamente às 4h50 e *ninguém morreu*".

Um dos charlatães que mencionei no capítulo sobre magia fingia que era capaz de fazer relógios voltarem a funcionar pelo poder do pensamento. Ele convidava seus milhares de telespectadores a pegar qualquer relógio velho e quebrado que tivessem em casa e segurá-lo nas mãos enquanto ele tentava fazê-los funcionar à distância. Quase imediatamente o telefone tocava no estúdio de televisão, e uma voz ofegante anunciava no maior espanto que seu relógio realmente começara a funcionar.

Parte da explicação pode ser parecida com o caso do relógio da sra. Feynman. Isso é menos provável com os relógios digitais modernos, mas, na época em que os relógios tinham mola, simplesmente pegar um na mão podia fazê-lo funcionar, pois o movimento súbito ativava a mola que sustentava o balancim. Isso acontece mais facilmente se o relógio estiver aquecido, e o calor das mãos pode ser suficiente — não com muita frequência, mas isso não é necessário quando há 10 mil telespectadores segurando relógios parados, talvez chacoalhando-os e depois retendo-os nas mãos quentes. Bastava que um desses 10 mil relógios começasse a tiquetaquear para que seu dono telefonasse todo empolgado à emissora e impressionasse o público. E ninguém falava nada dos outros 9999 que não voltaram a funcionar.

Pensando sobre os milagres

Um famoso pensador escocês do século XVIII chamado David Hume apresentou um sagaz ponto de vista sobre os milagres. Ele começou definindo milagre como uma transgressão de uma lei da natureza. Andar sobre as águas, transformar água em vinho, fazer um relógio parar ou funcionar com o poder do pensamento ou transformar um sapo num príncipe seriam bons exemplos de transgressão de uma lei da natureza. Milagres assim seriam muito perturbadores para a ciência, pelas razões que expus no capítulo sobre magia. Isso *se* alguma vez acontecessem, é claro. Então como devemos responder às histórias de milagres? Essa foi a questão abordada por Hume, e sua resposta foi o tal ponto de vista sagaz.

Se você quiser saber quais foram as palavras exatas dele, aqui estão, mas lembre-se de que foram escritas há mais de dois séculos, então o estilo pode soar estranho:

Nenhum testemunho é suficiente para comprovar um milagre, a menos que o testemunho seja de tal natureza que sua falsidade seria mais milagrosa que o fato que ele procura comprovar.

Tentarei expressar esse argumento de Hume em outras palavras. Se João lhe contar uma história de milagre, você só deverá acreditar se for mais milagroso a história ser mentira (ou um engano, ou uma ilusão). Por exemplo, você poderia dizer "Eu confiaria minha vida ao João, pois ele *nunca* mente, seria um *milagre* se alguma vez ele dissesse uma mentira". Mas Hume diria: "Por mais improvável que possa ser João dizer uma mentira, ela é *mais improvável* que o milagre que João afirma ter visto?". Suponha que João diga ter visto uma vaca pular até a Lua. Por mais confiável e honesto que ele fosse normalmente, a ideia de que ele está mentindo (ou tendo uma alucinação honesta) seria menos milagrosa que o fato

de uma vaca pular até a Lua. Assim, deveríamos preferir a explicação de que John está mentindo (ou se enganou).

Esse foi um exemplo extremo e imaginário. Vejamos agora algo que aconteceu de verdade, para verificar se a ideia de Hume funciona na prática. Em 1917, duas primas, as inglesas Frances Griffiths e Elsie Wright, supostamente fotografaram fadas. Acima, vemos uma dessas fotos, na qual Elsie posa com essas "fadas".

Você pode achar que essa foto é uma falsificação óbvia, mas, naquela época, quando a fotografia ainda era novidade, muita gente caiu no logro, inclusive o grande escritor sir Arthur Conan Doyle, criador do famoso e muito inteligente detetive Sherlock Holmes. Anos depois, quando Frances e Elsie já estavam velhinhas, decidiram pedir desculpas e admitiram que as "fadas" nada mais eram que figuras de papelão recortadas. Agora pensemos como Hume, e vejamos como Conan Doyle e outros poderiam ter deduzido que era um truque. Qual dessas possibilidades, na sua opinião, seria mais milagrosa se fosse verdadeira:

1. Existem realmente fadas, pessoas pequenas com asas que voam no meio da flores.
2. Elsie e Frances inventaram tudo e falsificaram as fotos.

Não há dúvida, não é mesmo? Crianças adoram fazer de conta, e isso é muito fácil. Mesmo se fosse difícil, mesmo se você achasse que conhecia Elsie e Frances muito bem e elas sempre tivessem sido meninas confiáveis, que jamais sonhariam em pregar uma peça, mesmo se alguém tivesse dado a elas o soro da verdade e elas tivessem se submetido a um detector de mentira e passado com nota dez, mesmo se tudo isso, somado, indicasse que seria um *milagre* elas contarem uma mentira, o que Hume diria? Ele diria que o "milagre" de elas mentirem seria um milagre *menor* que a existência de fadas.

Elsie e Frances não causaram graves danos com sua travessura, e é até engraçado que tenham conseguido enganar o grande Conan Doyle. Mas às vezes peças pregadas por jovens não têm graça nenhuma, para dizer o mínimo. No século XVII, em um vilarejo da Nova Inglaterra chamado Salém, um grupo de meninas adquiriu uma obsessão histérica por bruxas e começou a imaginar, ou inventar, uma série de coisas. Infelizmente, os supersticiosos adultos da comunidade acreditaram nelas. Muitas mulheres idosas e também alguns homens foram acusados de bruxaria, ligação com o Demônio e de lançar feitiços contra essas meninas, que disseram tê-los visto voar e fazer outras coisas estranhas que se pensava que os bruxos faziam. As consequências foram gravíssimas: o testemunho das meninas mandou quase vinte pessoas para a forca. Um homem chegou a ser esmagado sob pedras, uma coisa medonha que aconteceu para uma pessoa inocente só porque umas garotas inventaram histórias sobre ele. Por que será, eu me pergunto, que elas fizeram aquilo? Estariam tentando impressionar umas às outras? Teria sido algo nas linhas do cruel *bullying* cibernético, que vemos hoje em e-mails e nas redes sociais? Ou será que elas acreditavam mesmo em suas histórias mirabolantes?

Voltemos às histórias de milagres em geral e como elas começam. Talvez o mais famoso exemplo de dar credibilidade a crianças que disseram coisas estranhas seja o chamado "milagre de Fátima". Em 1917, na cidade portuguesa de Fátima, uma pastora de dez anos de idade chamada Lúcia, acompanhada por dois primos menores, Francisco e Jacinta, disse ter tido uma visão numa colina. As crianças contaram que uma mulher chamada "Virgem Maria", a qual, embora estivesse morta havia muito tempo, tornara-se uma espécie de deusa da religião local, apareceu na colina. Segundo Lúcia, o espírito de Maria disse a ela que as três crianças deveriam voltar àquele local no dia 13 de cada mês até 13 de outubro, quando ela realizaria

um milagre para provar que era quem dizia ser. Rumores sobre o esperado milagre espalharam-se por Portugal, e no dia marcado uma multidão de 70 mil pessoas, segundo se afirma, reuniu-se no local. Quando aconteceu, o milagre estava relacionado ao Sol. Os relatos sobre o que exatamente o Sol teria feito são variados. Algumas testemunhas disseram que ele pareceu "dançar", outras garantiram que ele girou como uma roda de fogo. A descrição mais dramática dizia:

> *... o Sol pareceu se descolar do céu e vir esmagar a multidão apavorada* [...] *Justamente quando parecia que a bola de fogo cairia e nos destruiria, o milagre chegou ao fim e o Sol reassumiu seu lugar, brilhando pacífico como nunca.*

Pois bem. O que realmente deve ter acontecido? Houve mesmo um milagre em Fátima? O espírito de Maria apareceu de verdade? Convenientemente, ela ficou invisível a todos exceto três crianças, por isso não precisamos levar muito a sério essa parte da história. Mas o milagre do Sol que se moveu, segundo se diz, foi visto por 70 mil pessoas. Como explicar isso? Será que o Sol se moveu de verdade? Ou a Terra se moveu para perto dele, fazendo assim parecer que ele se aproximou? Pensemos como Hume. Temos três possibilidades a examinar.

1. O Sol realmente se moveu no céu e despencou em direção à multidão apavorada antes de reassumir sua posição costumeira. (Ou a Terra mudou seu padrão de rotação de modo que pareceu que o Sol se moveu.)

2. Nem o Sol nem a Terra se moveram, e 70 mil pessoas tiveram uma alucinação coletiva.

3. Nada aconteceu, e o relato do incidente é falso, exagerado ou simplesmente inventado.

Qual dessas possibilidades você acha mais plausível? Todas parecem bem improváveis. Mas sem dúvida a terceira é a menos delirante, a que menos merece o título de milagre. Para aceitar a possibilidade 3, só precisamos acreditar que alguém deu a notícia mentirosa de que 70 mil pessoas viram o Sol se mover e que essa mentira foi repetida e espalhada, exatamente como tantas lendas urbanas que se alastram velozmente pela internet hoje em dia. A possibilidade 2 é menos provável. Exigiria que acreditássemos que 70 mil pessoas tiveram uma alucinação com o Sol ao mesmo. Algo fantástico. Porém, por mais improvável e quase milagrosa que a possibilidade 2 possa parecer, ainda assim seria um milagre menor que a possibilidade 1.

O Sol é visível ao mesmo tempo em metade do mundo, onde é dia, e não só em uma cidade portuguesa. Se ele realmente se movesse, milhões de pessoas no planeta, e não apenas quem estava em Fátima, ficariam apavoradas. Mas o argumento contra a possibilidade 1 é ainda mais forte. Se o Sol *realmente* tivesse se aproximado à velocidade relatada, despencando em direção à multidão, ou se algo houvesse acontecido, mudando a rotação da Terra o suficiente para dar a impressão de que o Sol se deslocara a essa velocidade colossal, ora, esse teria sido o catastrófico fim de todos nós. A Terra teria sido jogada para fora de sua órbita e hoje seria uma rocha gelada e sem vida investindo pelo vácuo escuro, ou teríamos ido em direção ao Sol e fritado. Lembre, do capítulo 5, que a Terra gira à velocidade de muitas centenas de quilômetros por hora (1600 km/h, medidos na linha do equador), e apesar disso o movimento do Sol não é visto, pois ele está muito distante. Se o Sol e a Terra de súbito se movessem um em direção ao outro com velocidade suficiente para uma multidão ver o Sol "despencar" em cima das pessoas, o movimento real deveria ter sido milhares de vezes mais veloz que o normal, e isso seria literalmente o fim do mundo.

Conta-se que Lúcia disse às pessoas para olharem o Sol. Isso é uma tremenda estupidez, pois pode lesionar permanentemente os olhos. E também pode induzir uma alucinação de que o Sol está bamboleando no céu. Mesmo se apenas uma pessoa tivesse a alucinação ou mentisse que o Sol se movera, então contasse para alguém, que contasse para outra pessoa, que contasse para um monte de gente, e assim por diante, isso bastaria para dar início a um rumor popular. Por fim, uma das pessoas que ouviu o rumor provavelmente escreveria a respeito. Mas, para Hume, se isso aconteceu ou deixou de acontecer não importa. O que importa é que, por mais implausível que possa ser 70 mil testemunhas se enganarem, é menos implausível que o Sol se mova do modo descrito.

Hume não afirmou diretamente que milagres são impossíveis. Ele nos pediu para definir milagre como um evento improvável cuja improbabilidade possamos estimar. A estimativa não precisa ser exata. Basta que a improbabilidade de um alegado milagre seja situada de um modo aproximado em algum tipo de escala, e então comparada a alternativas como uma alucinação ou uma mentira.

Voltemos ao jogo de cartas do capítulo 1. Você deve lembrar que quatro jogadores receberam uma mão perfeita: só paus, só copas, só espadas e só ouros. Se isso realmente acontecesse, o que deveríamos pensar? Há três possibilidades.

1. Um milagre sobrenatural aconteceu, realizado por um mago, uma bruxa, um feiticeiro ou um deus com poderes especiais que violou as leis da ciência e transformou todos os desenhos de naipes no baralho de modo a deixá-los posicionados para a mão perfeita.

2. É uma coincidência impressionante. As cartas foram embaralhadas e produziram uma mão perfeita por acaso.

3. É um truque. Alguém deve ter substituído as cartas que vimos sendo embaralhadas por um baralho previamente ordenado, que estava escondido na sua manga.

Agora, tendo em mente o conselho de Hume, o que você acha? É difícil acreditar em qualquer uma das possibilidades. Mas acreditar na 3 é muito mais fácil. A possibilidade 2 poderia acontecer, mas já calculamos as chances: 536 447 737 765 488 792 839 237 440 000 contra 1. Não podemos calcular as chances da 1 com a mesma precisão, mas pense: uma força que nunca foi adequadamente demonstrada e que ninguém entende manipulou desenhos em tinta vermelha e preta em dezenas de cartas ao mesmo tempo. Você pode relutar em usar uma palavra forte como "impossível", mas Hume não pede isso. Ele queria apenas que comparássemos as alternativas, que, nesse caso, consistem em um truque de ilusionismo e em um colossal golpe de sorte. Por acaso já

53644737765488792839237440000 para 1

não vimos truques (em geral envolvendo cartas) que são no mínimo tão impressionantes quanto esse? É claro que a explicação mais provável para a mão perfeita não é sorte pura, menos ainda uma interferência milagrosa nas leis do universo, e sim um truque perpetrado por um ilusionista ou um espertalhão desonesto e habilidoso com as cartas.

Vejamos outra famosa história de milagre, o já mencionado relato do pregador judeu chamado Jesus que transformou água em vinho. Novamente podemos listar três explicações possíveis.

1. Realmente aconteceu. A água se transformou em vinho.

2. Foi um truque hábil.

3. Nada aconteceu. É só uma história, um relato fictício, que alguém inventou. Ou houve um mal-entendido envolvendo alguma coisa muito menos notável que realmente aconteceu.

Creio que não há dúvida sobre a ordem ou as probabilidades. Se a explicação 1 fosse verdadeira, violaria alguns dos mais arraigados princípios científicos que conhecemos, pelas mesmas razões que vimos no primeiro capítulo quando falei de abóboras e carruagens, sapos e príncipes. Moléculas de água pura precisariam ter sido transformadas em uma complexa mistura de moléculas, incluindo álcool, taninos, vários tipos de açúcar e muitas outras. As alternativas teriam que ser muito improváveis para que preferíssemos essa.

Um truque é possível (truques muito mais impressionantes costumam ser feitos no palco e na televisão), porém menos provável do que a explicação 3. Por que nos dar ao trabalho de supor um truque, se não existem evidências de que o incidente aconteceu? Por que até mesmo pensar em

um truque quando, em comparação, a explicação 3 é tão provável? Alguém inventou a história. Histórias inventadas são muito comuns. Ficção é isso. Sendo tão plausível que esse relato seja ficção, não precisamos nos dar ao trabalho de supor truques, muito menos milagres reais que violem as leis da ciência e virem do avesso tudo o que sabemos a respeito de como o universo funciona.

Aliás, sabemos que muita ficção foi inventada em torno do tema desse pregador chamado Jesus. Por exemplo, existe uma graciosa canção em inglês chamada "Cherry tree carol" [cântico da cerejeira] que fala de uma ocasião em que Jesus ainda estava no ventre de sua mãe, Maria (a mesma da história de Fátima). Ela estava andando com José, seu marido, quando encontraram uma cerejeira. A mulher quis cerejas, mas elas estavam no alto da árvore, fora de alcance. José não queria subir na árvore, e a canção conta:

Disse então Jesus menino
Lá do ventre de Maria:
"Desce tu, galho mais fino,
E dá o que ela queria,
Desce tu, galho mais fino,
E dá o que ela queria".

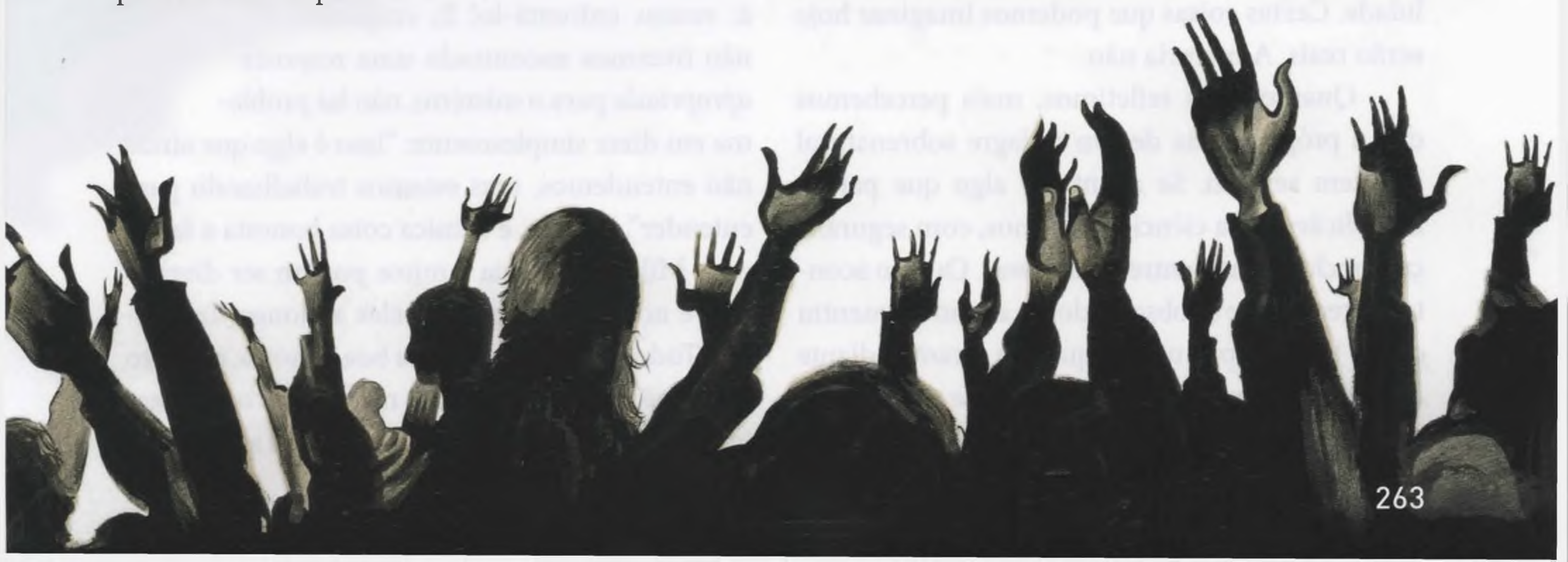
Desce o galho até a mão
de Maria, que espantada,
Diz :"José, olha que bom,
ter cerejas comandadas".
Diz :"José, olha que bom,
ter cerejas comandadas".

Você não vai encontrar a história da cerejeira em nenhum livro sagrado milenar. Ninguém que seja minimamente informado e instruído pensa que ela aconteceu. Muita gente acha que a história da água que virou vinho é verdadeira, mas todos concordam que a da cerejeira é ficção. Essa história foi inventada faz apenas uns quinhentos anos. Já a da água em vinho é mais antiga. Aparece em um dos quatro evangelhos da religião cristã (o Evangelho de João — e em nenhum dos outros três!). Mas não há razão para acreditar que seja algo além de uma história inventada. A diferença é que foi inventada alguns séculos antes da história da cerejeira. Aliás, os quatro evangelhos foram escritos muito tempo depois dos eventos que alegam descrever, e nenhum tem por autor uma testemunha ocular. Podemos concluir com segurança que a história da água transformada em vinho é ficção, exatamente como a história da cerejeira.

O mesmo pode ser dito sobre todos os pretensos milagres, todas as explicações "sobrenatu-

rais" para alguma coisa. Suponha que ocorra algo que não entendemos e que não somos capazes de descobrir como poderia ser uma fraude, um truque ou uma mentira. Seria então correto concluir que, por isso, tem de ser sobrenatural? Não! Como expliquei no primeiro capítulo, isso encerraria as discussões e investigações. Seria preguiça e até desonestidade, pois fazer tal coisa equivale a afirmar que nenhuma explicação natural jamais será *possível*. Se você afirma que alguma coisa estranha tem de ser sobrenatural, não está apenas dizendo que não a entende no momento. Está desistindo de entendê-la e afirmando que nunca poderá ser compreendida.

Milagre de hoje, tecnologia de amanhã

Existem coisas que nem os melhores cientistas atuais conseguem explicar. Mas isso não significa que devemos bloquear todas as investigações apelando para "explicações" falsas que invocam a magia ou o sobrenatural e não explicam coisa nenhuma. Imagine como um homem da Idade Média — mesmo o mais instruído de sua época — reagiria se visse um avião, um computador, um celular ou um GPS. Provavelmente diria que eram coisas sobrenaturais. Mas hoje esses aparelhos são comuns, e sabemos como funcionam, pois foram

construídos segundo os princípios da ciência. Nunca foi necessário apelar para a magia, o milagre ou o sobrenatural, e agora sabemos que o homem da Idade Média estaria errado se o fizesse.

Não precisamos voltar aos tempos medievais para sustentar nosso argumento. Um século atrás, se uma gangue de criminosos tivesse celulares, conseguiria coordenar suas atividades de um modo que pareceria telepatia a Sherlock Holmes. Nos tempos desse famoso detetive, um suspeito de assassinato que pudesse provar que estava em Nova York na noite seguinte a um assassinato cometido em Londres teria um álibi perfeito, pois no século XIX era impossível estar nas duas cidades num mesmo dia. Quem dissesse o contrário pareceria estar apelando para o sobrenatural. No entanto, hoje, com os aviões, isso é fácil. O renomado escritor de ficção científica Arthur C. Clarke resumiu essa ideia em sua Terceira Lei: *Qualquer tecnologia suficientemente avançada é indistinguível de magia.*

Se uma máquina do tempo nos levasse a um século futuro, veríamos coisas fantásticas que nos pareceriam impossíveis — milagres. Mas não quer dizer que qualquer coisa que achemos impossível hoje *acontecerá* no futuro. Os escritores de ficção científica podem imaginar uma máquina do tempo, uma máquina antigravidade, um foguete mais veloz que a luz. Mas o simples fato de sermos capazes de imaginar não é razão para supor que máquinas assim um dia serão realidade. Certas coisas que podemos imaginar hoje serão reais. A maioria não.

Quanto mais refletimos, mais percebemos que a própria ideia de um milagre sobrenatural não tem sentido. Se acontecer algo que pareça inexplicável pela ciência, podemos, com segurança, concluir uma dentre duas coisas. Ou não aconteceu realmente (o observador se enganou, mentiu ou foi logrado por um truque) ou estamos diante de algo que a ciência ainda não sabe explicar. Se a ciência atual encontra uma observação ou um resultado experimental que não consegue entender, não devemos descansar até que ela evolua o suficiente para encontrar a explicação. Se para isso for preciso um tipo radicalmente novo de ciência, uma ciência revolucionária, tão estranha que os cientistas mais velhos quase não a reconheçam como ciência, tudo bem. Isso já aconteceu antes. Mas não sejamos preguiçosos, derrotistas, a ponto de dizer "Só pode ser sobrenatural" ou "Só pode ser milagre". Em vez disso, digamos que é um enigma, que é estranho, um desafio que devemos enfrentar. Seja questionando a verdade da observação, seja expandindo a ciência em novas e fascinantes direções, a resposta apropriada e corajosa a qualquer desafio desse tipo é: vamos enfrentá-lo! E, enquanto não tivermos encontrado uma resposta *apropriada* para o mistério, não há problema em dizer simplesmente: "Isso é algo que ainda não entendemos, mas estamos trabalhando para entender". De fato, é a única coisa honesta a fazer.

Milagres, magia e mitos podem ser divertidos, e nos deleitamos com eles ao longo deste livro. Todo mundo adora uma boa história, e espero que você tenha gostado dos mitos que contei para iniciar a maioria dos capítulos. Espero ainda mais

que, em cada capítulo, você tenha gostado das explicações científicas que vieram depois dos mitos. E que concorde comigo: a verdade tem sua própria magia. Ela é mais mágica — no melhor e mais fascinante sentido dessa palavra — do que qualquer mito, mistério ou milagre inventados. A ciência tem sua própria magia: a magia da

realidade.

Índice remissivo

Agradecimentos

Richard Dawkins agradece a:
Lalla Ward, Lawrence Krauss, Sally Gaminara, Gillian Somerscales, Philip Lord, Katrina Whone, Hilary Redmon; Ken Zetie, Tom Lowes, Owen Toller, Will Williams e Sam Roberts da St. Paul's School, Londres; Alain Townsend, Bill Nye, Elisabeth Cornwell, Carolyn Porco, Christopher McKay, Jacqueline Simpson, Rosalind Temple, Andy Thomson, John Brockman, Kate Kettlewell, Mark Pagel, Michael Land, Todd Stiefel, Greg Langer, Robert Jacobs, Michael Yudkin, Oliver Pybus, Rand Russell, Edward Ashcroft, Greg Stikeleather, Paula Kirby, Anni Cole-Hamilton e a equipe e os alunos da Moray Firth School.

Dave Mckean agradece a:
Christian Krupa (modelos em computador); Ruth Howard (consultoria em química); Andrew Hills (consultoria em física) e Cranbrook School; Clare, Yolanda e Liam McKean.

Créditos das ilustrações

Galáxias, p. 167, © NASA/Getty
Espectroscópio, p. 170, © Museu da História da Ciência, Oxford
Aranha, p. 199, © Thomas Shahan
Simulação de terremoto, p. 206, © U. S. Geological Survey e Southern California Earthquake Center
Michael Jackson no capô do carro, p. 248, © KNS News
"Jesus numa frigideira", p. 249, © Caters News
"Jesus numa torrada", p. 249, © Chip Simons/Getty
Fadas de Cottingley, p. 255, © Glenn Hill/SSPL/Getty

Sobre o autor e o ilustrador

Richard Dawkins nasceu em Nairóbi, Quênia, em 1941, e cresceu na Inglaterra. Formou-se pela Universidade de Oxford e foi o primeiro titular da cadeira de Compreensão Pública da Ciência, criada para dar a um pesquisador a oportunidade de se dedicar à divulgação da ciência além da pesquisa. É autor de *O gene egoísta*, *O maior espetáculo da Terra*, *Deus, um delírio*, entre outros livros.

Dave McKean nasceu em Berkshire, Inglaterra, em 1963. É designer, ilustrador e diretor de cinema e trabalhou no departamento de arte de *Harry Potter e o prisioneiro de Azkaban*. Criou inúmeras capas de álbuns, quadrinhos e livros, mas ficou conhecido principalmente pelas ilustrações da cultuada HQ *Asilo Arkham* e por sua longa colaboração com Neil Gaiman.

De que são feitas as coisas? Por que existe noite e dia, inverno e verão? O que é o Sol? Quando e como tudo começou? Existe vida fora da Terra?

A resposta para essas e muitas outras perguntas que fazemos sobre o planeta e o universo pode ser encontrada neste livro divertido e surpreendente sobre os cientistas e suas descobertas. Escrito pelo best-seller mundial Richard Dawkins e com ilustrações do renomado Dave McKean, *A magia da realidade* contrapõe antigos mitos em que muitos ainda acreditam a verdades científicas por vezes desconhecidas para mostrar que a realidade é bem mais impressionante que qualquer invenção.

"Quero mostrar a você que o mundo real, como é entendido cientificamente, tem sua própria magia. Eu a chamo de magia poética, uma beleza inspiradora que é ainda mais mágica porque é real e podemos compreender como funciona. Em comparação à verdadeira beleza e magia do mundo real, o sobrenatural e os truques de palco parecem vulgares e sem graça. A magia da realidade não é sobrenatural, não é um truque. É absolutamente fascinante. Fascinante e real. Fascinante *porque* é real." — Richard Dawkins

ISBN 978-85-359-2054-3
9 788535 920543